LA CHIMIE ET L'AGRICULTURE

Éducation
Manitoba

88-05803/

LA CHIMIE ET L'AGRICULTURE

© Tous droits de reproduction, d'adaptation et de traduction réservés par le Bureau de l'éducation française du Manitoba.

ISBN: 0-7711-0718-8

Dépôt légal: 2e trimestre 1988

Bibliothèque nationale du Canada

TABLE DES MATIÈRES

PAGE

AMÉLIORATION DES SOLS 1

AMÉLIORATION DES CARACTÈRES PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS 1
Traitement des sols pauvres 1
La tourbe 1
Le fumier 1
Le compost. 2
L'humus 2
Les matièrs sableuses 2
Les engrais liquides. 3
L'aération. 4
AMÉLIORATION CHIMIQUE DES SOLS. 4
Problèmes chimiques se posant aux sols. 5
La salinité 5
Le PH du sol. 5
Les éléments nutritifs. 5
Éléments nutritifs faisant souvent défaut 7
L'azote 7
Le phosphore. 7
Le potassium. 8
Le soufre 8
Pourquoi les plantes ont besoin de ces éléments nutritifs 9
Les engrais 9
La formule d'un engrais 9
. 10

SOL ET ENGRAIS. 15

QUE TIRE-T-ON DU SOL? 15
Recherche 1 - Substances chimiques du sol 15
POUR BIEN UTILISER LA TERRE, IL FAUT PRENDRE ET RENDRE. 18
Les engrais organiques. 19
Les engrais inorganiques. 20
Recherche 2 - Les effets des engrais inorganiques 22
L'Azote dans les engrais. 24
Recherche 3 - Le lessivage. 29
. 31

LA LUTTE CHIMIQUE 37

LA GUERRE CONTRE LES INSECTES 37
Le DDT. 37
Un insecticide miracle. 38
La fin d'un rêve: déclin et chute du DDT. 39
Les insecticides organiques phosphorés. 41
Les carbamates: insecticide ou miel 44
. 45

L'appât sexuel: les phénomones. 45
La lutte biologique: insecte pour insecte 47
Les hormones juvéniles. 48
La stérilisation. 50
LA GUERRE CONTRE LES MAUVAISES HERBES 50
Les herbicides et les défoliants. 50
Le 2, 4 - D et le 2, 4, 5 - T 50
Le cyanamide calcique 51
Le paraquat 51
L'utilisation d'herbicides. 52
LA RÉVOLTE CONTRE LES PRODUITS CHIMIQUES: LA CULTURE BIOLOGIQUE 52

LA LUTTE CONTRE LES INSECTES. 55

LA DÉFENSE CHIMIQUE CHEZ LES ANIMAUX. 55
DUPLICATION DES PHÉROMONES CHEZ DIVERS INSECTES 58
MÉCANISMES DE DÉFENSE CHIMIQUE CHEZ LES PLANTES 61
NOUVELLES MÉTHODES DE LUTTE CONTRE LES INSECTES 62
Les pesticides. 62
Les phéromones. 62
La stérilisation. 64
Les antiappétants 65
Les hormones. 65
La lutte biologique 66
Autres méthodes 66

LE MODE D'ACTION DES ANTIPARASITES. 69

LES INSECTICIDES. 69
LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES. 71
EFFETS NOCIFS DES POISONS 72

AMÉLIORATION DES SOLS

AMÉLIORATION DES SOLS*

AMÉLIORATION DES CARACTÈRES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS

Traitement des sols pauvres

Améliorer la qualité d'un sol est une chose difficile à réaliser et il est probable que cela reviendra cher au propriétaire qui habite en ville. Un certain nombre de matériaux peuvent répondre à ces besoins.

La tourbe

Il existe deux sortes de tourbe et les Albertains peuvent se procurer l'une et l'autre.

La "tourbe de sphaigne" est une mousse très légère et fibreuse qui provient d'une plante, la sphaigne, qui pousse dans les régions humides, marécageuses ("les tourbières"). On peut se procurer cette tourbe en magasin: dans ce cas, elle aura été séchée et se vendra en sacs légers et bien fermés de 0,1 à 0,2 mètre cube. Dans bien des endroits de l'Alberta, on peut également aller jusqu'à la tourbière la plus proche, ou même se rendre sur une ancienne tourbière et se procurer une tourbe de bonne qualité. Cette tourbe peut être de diverses couleurs: elle peut prendre toutes les teintes allant du jaune clair (dû au moissonnage des plantes à tourbe sur pied) au brun foncé indiquant un état de décomposition si avancé qu'il peut être difficile de dire si cette matière provient véritablement d'une mousse. La tourbe de sphaigne que l'on trouve dans le commerce est généralement assez fraîche et l'on voit tout de suite qu'il s'agit d'une mousse.

La "tourbe de laîche" est une matière organique brun foncé qui provient de la décomposition partielle de grosses herbes de marécages (laîches) qui poussent autour ou dans les bourbiers que l'on rencontre si fréquemment en Alberta. Les laîches qui ont poussé ces derniers siècles sont tombées dans l'eau et, pendant tout ce temps, elles se sont décomposées. La tourbe de laîche peut être assez jeune, et dans ce cas elle est rigide, feutrée et fibreuse; ou bien elle peut avoir atteint un état de décomposition si avancé qu'elle peut être molle, s'émietter et ressembler à de la terre. Les routiers qui vantent leur tourbe dans les régions du nord et du centre-ouest de l'Alberta fournissent la plupart du temps une tourbe de laîche bien décomposée.

Quand on peut se procurer de la tourbe, ça rend bien des services. La tourbe agit sur le sol de diverses manières: elle ramollit les sols argileux, empêche l'effritement des sols sableux, et fournit toujours des matières organiques. Ces matières se décomposent lentement année après année, donnant aux plantes les éléments nutritifs dont elles ont besoin; ainsi, la tourbe

---

* Extrait tiré de C.F. Bentley et J.A. Robertson. Soils and Fertilizers for Gardens and Lawns. Edmonton: Université de l'Alberta, 1977.

présente un certain intérêt comme engrais. Ce sont surtout les jardins qui tirent profit de la tourbe, même si ses effets ne se font sentir que pendant peu de temps (quelques années); il faudra donc prévoir d'en rajouter de temps à autre.

Le fait de mettre trop de tourbe ne présente normalement pas de danger, sauf peut-être, pour les pelouses. Si les 15 cm de terre qui se trouvent à la racine de l'herbe comprennent plus du tiers de tourbe, la pelouse sera spongieuse. Les pieds et les talons risquent de couper, déchirer et de trouer une pelouse douce et spongieuse lorsqu'elle est humide.

Il faut bien mélanger la tourbe avec le sol. Ceci évite d'avoir des couches ou des parties inégales et ça fait le plus grand bien au sol. Avant l'ensemencement, il faut tasser soigneusement le sol afin d'éviter cet aspect doux et spongieux dont nous parlions plus haut.

Le fumier

Le fumier, comme la tourbe, est excellent pour qui veut améliorer la qualité physique d'un sol, mais, là encore, son effet n'est que temporaire. C'est aussi un des meilleurs engrais qui soit, bien qu'il ne soit pas en lui-même un engrais idéal. L'emploi de trop de fumier peut ajouter trop d'azote au sol, ce qui pourrait lui être néfaste. Le maximum à utiliser, lorsqu'on se sert de fumier, est d'environ une tonne pour 100 mètres carrés; ou bien 100 kg pour 10 m^2. Si le fumier contient beaucoup de paille, on peut en mettre davantage, mais s'il est dans un état avancé de décomposition et si c'est du fumier de volaille, il faut en utiliser une moins grande quantité. Quoi qu'il en soit, il ne faut pas répandre du fumier riche en paille juste avant de planter; il faut l'étendre quelques mois plus tôt afin d'éviter le manque d'azote qui pourrait résulter du fait que la paille est en train de pourrir. Ou alors si on s'est servi de ce type de fumier, il faudrait répandre sur le sol un engrais riche en azote ou en azote et phosphore peu de temps avant de planter.

Le compost

Le compost se compose principalement de matières organiques. Le compost se compare à la tourbe et au fumier pour ce qui est de l'amélioration de la qualité du sol. En tant qu'engrais il peut être meilleur que le fumier ou aussi faible que la tourbe, dépendant des éléments qui entrent dans sa composition et de la façon dont il a été préparé.

L'humus

L'homme de la rue appelle ce sol riche en matières organiques "terre noire" ou "terreau noir". S'il est de couleur noire, il est effectivement riche en matières organiques et offre l'un des meilleurs moyens d'améliorer le sol, mais il coûte généralement très cher. Il ne faut pas qu'il soit trop argileux car cela pourrait le rendre trop plastique et collant lorsqu'il serait humide. Quant à la terre noire, elle ne provient pas nécessairement de la couche superficielle du sol. Il existe des terres à consistance fine et collante qui proviennent du sous-sol et sont de couleur foncée; ce type de terre ferait plus de mal que de bien car il leur manquerait les matières organiques que contient le sol superficiel. De plus ce type de terre est

généralement pauvre. Deux à 4 cm de bon terreau pas trop argileux mais riche en matières organiques, répandus sur le sous-sol provenant du trou creusé pour y placer les fondations d'une maison, faciliteront grandement la mise en place d'une pelouse. Bien sûr, on obtiendra des résultats encore meilleurs si l'on utilise davantage d'humus.

Une pelouse déjà en place peut être améliorée si on la recouvre d'une fine couche d'humus en automne. La couche ne doit pas dépasser 1 cm et doit être étalée au rateau. Ceci devrait stimuler l'herbe existante tout en améliorant la qualité du sol.

Il faut faire très attention lorsqu'on achète de l'"humus". Un certain nombre de clients déçus ont donné des échantillons de soi-disant "humus" à analyser et ceux-ci n'étaient pas bons ou étaient même tout à fait mauvais.

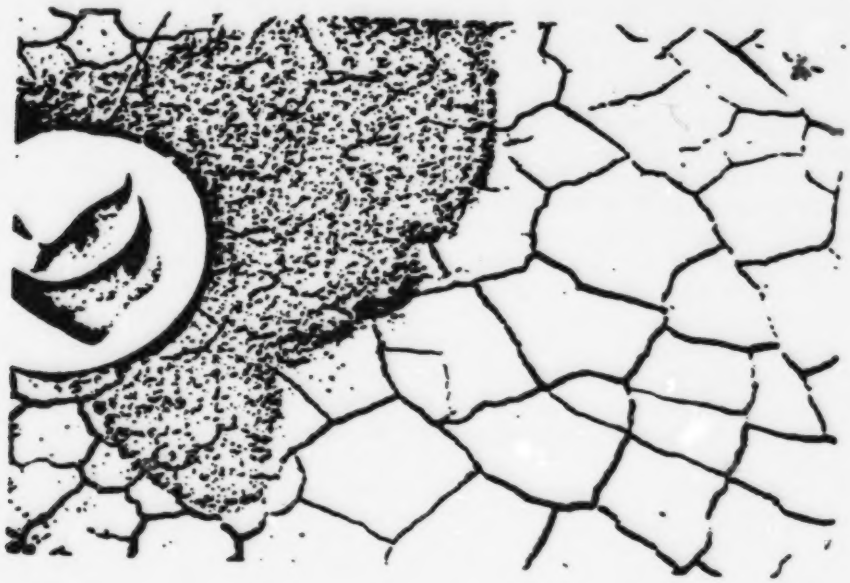


Illustration 1: Quelques centimètres de bon humus étalés sur le sous-sol facilitera énormément la mise en place d'une pelouse. Bien sûr, on obtient des résultats encore meilleurs quand on utilise plus d'humus que ça.

Les matières sableuses

Quand votre sol est argileux, vous pouvez ajouter un terreau sableux ou même simplement du sable, mais il se peut qu'il vous en faille de grandes quantités. Il n'est pas nécessaire cependant de tout mettre la même année; il vaut mieux ajouter 1 ou 2 cm de matières sableuses de temps à autre jusqu'à ce qu'on obtienne le type de sol désiré. Cette technique peut revenir cher dans la plupart des régions, mais l'amélioration du sol est permanente. Du reste, tout mélange d'argile et de sable peut devenir très compact ce qui empêche la pelouse ou le jardin d'avoir la mollesse ou la douceur que l'on désire. Si ceci se produit, c'est que le sol n'est pas suffisamment aéré. Ce problème ne

se pose pas habituellement lorsque le sol possède assez de matières organiques. Il vaut donc mieux, en général, ajouter du terreau ou de la tourbe, comme nous l'avons vu plus haut, que de faire appel à des matières sableuses.

Les engrais liquides

On peut se procurer deux sortes d'engrais liquides permettant d'améliorer la qualité des sols.

Il y a quelques années, divers engrais chimiques ont fait leur apparition sur le marché. Ces produits, lorsqu'on les utilisait en très petites quantités, produisaient des effets spectaculaires sur le sol. Cependant, quoique les effets des engrais chimiques tels que le Krilium, l'Aerotil et le Loxair soient saisissants, la plupart des gens pensent qu'ils reviennent trop cher pour qu'on les utilise pour autre chose que de petites plates-bandes, des fleurs en pots et à la rigueur des serres. On peut parfois les verser le long du sillon où l'on doit planter les jeunes pousses; ceci permet d'obtenir de très bons résultats tout en n'utilisant qu'une petite quantité de liquide et le prix en est alors raisonnable.

Vermiculite, Terra-lite, Perlite et Turface, autant de marques qui se rapportent à des engrais liquides mélangés à de la terre; la proportion d'engrais y est très élevée afin de pouvoir améliorer réellement la qualité du sol. Vermiculite et Terra-lite sont des produits à base de mica expansé. Perlite est un silicate traité. Turface est de l'argile calciné. La Perlite et la Vermiculite sont poreuses et très légères. Toutes deux ont une excellente capacité de rétention de l'eau et on peut se les procurer en toutes grosseurs, à partir de celle du sable fin jusqu'à celle du gravier. Quand on les mélange à la terre, la Vermiculite et la Perlite améliorent la couche arable en permettant une meilleure aération et une meilleure rétention de l'eau. On se sert beaucoup de ces produits pour les plantes en pots, les serres et dans tous les autres cas où l'on n'a besoin que d'une petite quantité de terre.

On peut se procurer de la Perlite ou de la Vermiculite, ainsi que les autres engrais liquides, dans des jardineries.

L'aération

Parfois les pelouses semblent pauvres par endroits parce que la terre y est trop tassée. Si la pelouse pousse mal dans ces endroits, c'est, au moins en partie, parce que l'air ne circule pas suffisamment dans le sol et ne facilite donc pas la croissance des racines. De plus, l'eau et les engrais ne peuvent pénétrer facilement dans le sol si bien que la pelouse pousse mal peut-être parce qu'elle souffre de sécheresse ou d'un manque d'éléments nutritifs.

On peut aérer le sol d'une pelouse de diverses façons. Les jardineries vendent des outils à main conçus pour l'aération de petites parties de pelouses. Ces outils permettent de se débarrasser des mottes de terre d'environ 1 cm de diamètre jusqu'à 5 ou 10 cm de profondeur. Si l'on a une grande pelouse, on peut louer un aérateur électrique dans certaines jardineries ou dans des maisons de location d'équipement. En ville, les entreprises qui se chargent de l'entretien des pelouses offrent, parmi leurs divers services, d'aérer le sol. Une utilisation judicieuse d'une fourche de jardin permet d'améliorer l'aération du sol sur de petites surfaces.

Les trous qui sont produits par les techniques mentionnées ci-dessus seront vite recouverts de pelouse si l'on veille à ce que cette partie du jardin soit toujours humide. C'est une bonne idée de fertiliser une pelouse dont le sol vient d'être aéré. La qualité du sol et sa rétention de l'eau s'améliorent progressivement quand on aère le gazon régulièrement pendant quelques années.

AMÉLIORATION CHIMIQUE DES SOLS

Problèmes chimiques se posant aux sols

Trois caractéristiques chimiques peuvent avoir des effets négatifs sur les pelouses et les jardins.

La salinité

Certains sols contiennent un niveau dangereux de sels solubles. On dit généralement de ces sols qu'ils sont "alcalins" mais on devrait plutôt les appeler "salins". Le sel d'Epsom (sulfate de magnésium) et le sel de Glauber (sulfate de sodium) sont souvent les trouble-fête de nos sols; on peut rencontrer aussi du gypse (sulfate de calcium) mais celui-ci ne pose généralement pas de problèmes. Une analyse du sol peut permettre de savoir avec certitude si un sol est salin ou non, mais malheureusement il y a bien peu de choses à faire si tel est le cas. Aucun traitement chimique ne permet de supprimer ou de contrecarrer les effets des sels. A la campagne, on peut certainement éviter ce problème en changeant le jardin de place; mais en ville, on ne peut généralement pas avoir recours à cette solution. Si on arrose beaucoup, il se peut qu'on réussisse à dissoudre les sels de façon que l'eau les emmène plus loin dans le sous-sol où ils n'auront plus d'effets sur les plantes; mais un tel traitement ne pourrait être que temporaire. Si l'on trouve des couches de sels cristallisés à la surface du sol, on peut les gratter et les enlever. Pour les petites surfaces, plates-bandes ou jardinières, le sol salin peut toujours être remplacé par du terreau cependant, ceci ne résoudra pas forcément le problème si celui-ci est dû à une eau souterraine saline ou à une eau d'irrigation qui ne convient pas. Si l'on ajoute des matières organiques de quelque type que ce soit, on peut parvenir à réduire les effets négatifs des sels simplement parce que le sol retiendra l'eau davantage, si bien qu'elle pourra alors diluer ces sels.

Le PH du sol

La réaction, ou en termes techniques le PH, du sol peut être mauvaise. Il peut être soit trop alcalin soit trop acide. On peut savoir avec certitude si un sol est acide ou alcalin en faisant une analyse du sol.

En Alberta, quand les sols sont trop alcalins, c'est généralement parce qu'ils contiennent trop de carbonate de calcium (carbonate de chaux, calcaire). La plupart du temps, une terre riche en calcaire ne pose pas de gros problèmes. Ça risque simplement de réduire la possibilité pour les plantes de bénéficier de certains éléments nutritifs et ceci se corrige en utilisant le montant d'engrais qui convient. Toutefois, il peut se faire que certaines plantes soient particulièrement sensibles à un PH élevé. Normalement il n'existe pas de traitement chimique permettant de contrecarrer les effets d'un tel sol.

Pour les petites surfaces, on peut répandre du soufre dans une proportion de 2 à 5 kg pour 10 mètres carrés. Ce traitement peut être bénéfique, mais le soufre agit lentement, et les effets définitifs du traitement ne seront pas obtenus avant un an et même plus.

Au bout d'un an environ, il faut refaire analyser le sol afin de voir s'il s'y trouve toujours du carbonate de calcium à l'état libre. Seule une analyse permet de savoir si l'on doit refaire le traitement au soufre.

Un jardinier avisé voudra peut-être utiliser du sulfate d'aluminium ou du sulfate ferreux car ces deux substances agissent plus vite que le soufre. On peut en trouver dans les jardineries ou les graineteries. Suivez le mode d'emploi indiqué sur l'emballage.

Récemment, l'acidité du sol où possent les pelouses d'Edmonton est devenue de plus en plus fréquente. Et il ne fait aucun doute que d'autres villes et d'autres endroits connaissent, ou risquent de connaître le même problème. Quand on fertilise le sol en utilisant trop d'azote, tout en arrosant peut-être beaucoup, pendant dix à trente ans, les sols peuvent apparemment devenir si acides que l'herbe peut en souffrir. Les pelouses ne poussent plus si bien et deviennent moins belles quand le sol s'acidifie. Une analyse du sol peut montrer avec précision si le sol d'une pelouse a atteint un degré d'acidité tel qu'il peut avoir des effets négatifs sur la qualité de la pelouse. Un PH inférieur à 5 a toutes les chances de nuire à la croissance des plantes, un PH situé entre 5 et 5,5 aura quelques effets négatifs, et on peut encore constater les mauvais effets de l'acidité si le PH se situe entre 5,5 et 6.

On peut surmonter l'acidité d'un sol par le chaulage, c'est-à-dire en ajoutant de la chaux au sol. En agriculture, ce qu'on appelle "chaux" est généralement du calcaire pulvérisé, roche que l'on trouve à l'état naturel qui se compose principalement de carbonate de calcium ($CaCO_3$). Comme l'acidité du sol n'est pas un problème très répandu en Alberta, il se peut que les jardineries ou les marchands d'engrais n'aient pas de chaux (ou de calcaire pulvérisé). Mais on peut s'en procurer dans les usines d'aliments pour le bétail. Le calcaire pulvérisé est peu soluble, il pénètre donc lentement dans le sol; il n'est pas corrosif ni toxique; le carbonate de calcium est l'ingrédient principal d'un grand nombre de dentifrices. On trouve une forme de carbonate de calcium à l'état naturel dans quelques endroits de l'Alberta: c'est une matière molle, assez impure, connue sous le nom de marne. Il peut être difficile de manier et d'étaler la marne, mais son action pour contrecarrer l'acidité du sol est la même que celle du calcaire pulvérisé.

C'est plus facile de corriger l'acidité du sol d'un jardin que d'une pelouse. On peut en effet répandre du calcaire pulvérisé dans la proportion recommandée d'après l'analyse du sol, à la surface du jardin puis le faire pénétrer. Le sol sera débarrassé de son acidité quelques semaines après le chaulage. Mais quand on répand du calcaire pulvérisé sur les pelouses, seuls la pluie ou l'arrosage peuvent le dissoudre et faire pénétrer le carbonate de calcium dans le sol. Comme le calcaire pulvérisé est peu soluble et que l'acidité du sol des pelouses est un problème nouveau en Alberta, on ne sait pas encore combien de temps cela prendra pour surmonter cette acidité; il se peut que cela demande plusieurs mois.

Le calcaire pulvérisé se présente normalement sous forme d'une poudre fine difficile à étaler. Les machines qui servent à pulvériser les engrais ne conviennent pas ici. Le calcaire pulvérisé est plus facile à étendre s'il est mélangé soit à du sable, soit à de la terre bien grenée dans une proportion de 1 pour 1 ou 1 pour 2, puis jeté à la volée.

Le montant de calcaire à utiliser varie en fonction de l'acidité du sol ainsi que de sa texture. La recommandation faite à la suite de l'analyse tient compte de ces deux facteurs. On en utilise en moyenne 20 à 40 kg pour 100 mètres carrés. Les effets bénéfiques du chaulage dureront probablement entre six et vingt ans, ou plus, dépendant des autres propriétés du sol, du montant de fertilisation à l'azote et de l'arrosage.

Les éléments nutritifs

Il se peut que les sols manquent d'une certaine quantité d'un ou de plusieurs éléments nutritifs, ou ne les possède pas sous une forme facilement assimilable par la racine des plantes. Les plantes ont besoin de 13 éléments nutritifs (substances chimiques), en dehors de l'eau, présents dans le sol. Ces 13 éléments chimiques essentiels sont présentés dans le tableau 1. Un grand nombre de sols sont pauvres dans l'un de ces éléments au moins et bien souvent le propriétaire qui veut améliorer le sol de son jardin n'a qu'à lui fournir l'élément ou les éléments qui lui font défaut. Heureusement, ceci est facile à l'aide d'engrais, de fumier, ou de compost comme on l'a décrit plus loin.

Éléments nutritifs faisant souvent défaut

L'azote, le phosphore, le potassium et le soufre. Chacun de ces éléments jouent un rôle particulier dans la nutrition de la plante.

L'azote

L'azote donne aux plantes une couleur vert foncé et saine tout en les faisant devenir belles et luxuriantes. Les pelouses, la laitue, les épinards ainsi que les autres plantes à grandes feuilles très vertes demandent une grande quantité d'azote pour bien pousser. Un grand nombre de pelouses et de jardins ont besoin d'azote en Alberta.

Tableau 1 - Éléments nutritifs se trouvant dans le sol et dont le rôle est essentiel à une bonne croissance et à de bonnes capacités de reproduction pour les plantes*.

Nom chimique de l'élément nutritif	Symbole chimique	Noms souvent employés pour désigner cet élément
Macronutriments - nécessaires en petites quantités		
Azote	N	Nitrate, ammoniaque
Phosphore	P	Phosphate, acide phosphorique, anhydride azotique
Potassium	K	Potasse
Calcium	Ca	Chaux, calcaire
Magnésium	Mg	Magnésie
Soufre	S	Sulfates, sulfures, soufre en fleurs
Micronutriments - nécessaires en quantités microscopiques		
Chlore	Cl	Chlorure, muriate
Fer	Fe	Ferreux, ferrique
Manganèse	Mn	
Zinc	Zn	
Cuivre	Cu	
Bore	B	Borax, acide borique
Molybdenum	Mo	

* En plus des éléments nutritifs indiqués dans ce tableau, les plantes ont besoin d'hydrogène, d'oxygène et de gaz carbonique, qu'elles peuvent obtenir dans l'air et dans l'eau.

Le phosphore

Le phosphore permet aux plantes d'avoir des racines fortes et solides (et particulièrement les racines comestibles que l'on doit conserver comme les betteraves) ainsi que de belles fleurs riches en graines, de pousser rapidement tout en acquérant une belle couleur, bien verte. Les jardins de l'Alberta ont généralement besoin de phosphore.

Le potassium

Le potassium joue un rôle équilibrant: il permet aux plantes d'avoir des tiges fortes, de bonnes racines et une bonne résistance aux maladies. Il est indispensable à la formation d'amidon et à la circulation des sucres dans la plante. Jusqu'alors, les sols albertains ne semblent pas avoir jamais manqué de potassium. Cependant les propriétaires qui passent de longues heures et beaucoup d'argent à l'entretien de leur pelouse ou de leur jardin devraient aussi leur donner du potassium. Ainsi on évite les résultats décevants qui pourraient provenir d'un manque imprévu de potassium.

Le soufre

Le soufre, comme l'azote, donne aux feuilles une couleur vert foncé. Tout manque de soufre peut provoquer l'apparition de feuilles jaunes. Il peut aussi empêcher les plantes d'avoir des graines. Le soufre semble particulièrement important à la culture des choux (chou en feuilles, brocoli, chou-fleur). Le manque de soufre est fréquent dans les sols luvisoliques et pourrait se trouver également ailleurs dans les sols dont la texture est plus granuleuse. Les sols dont la salinité pose un problème n'en manquent généralement pas.

Pourquoi les plantes ont besoin de ces éléments nutritifs

Il y a plusieurs raisons qui font que les jardins ou les pelouses peuvent avoir besoin de ces nutriments:

1. Il se peut que ces nutriments aient manqué avant même que le sol ait été utilisé. La plupart des sols albertains requièrent du phosphore si l'on veut obtenir de bons résultats dans son jardin, et le phosphore fera en général du bien même aux jardins dont la terre est vierge.

2. Une fois que la plante est parvenue à maturité, elle continue à se nourrir des éléments qui se trouvent dans le sol. Si l'on enlève la plante, le sol se trouve appauvri du montant de nutriments présents dans la plante. Au fil des récoltes, le phosphore, l'azote ainsi que d'autres nutriments peuvent se trouver en quantité insuffisante dans le sol. Ainsi, lorsqu'on retire l'herbe coupée d'une pelouse, on retire par la même occasion une grande quantité d'azote (et d'autres éléments).

3. Souvent les jardins et les pelouses sont arrosés artificiellement. Ceci fait pousser les plantes plus vite si bien que les éléments nutritifs qui se trouvent dans le sol s'en échappent plus vite. De plus, l'arrosage risque dans certains cas d'entraîner l'azote profondément dans le sol, trop loin des racines des plantes pour que celles-ci en bénéficient.

Les engrais

Un engrais est une matière qui fournit un ou plusieurs éléments nutritifs aux plantes. Le fumier de ferme, le compost, les vidanges traitées industriellement son tous des engrais organiques. La plupart de leurs nutriments se trouvent dans les matières organiques qui les composent et deviennent assimilables par les plantes lorsque les organismes du sol décomposent ces matières. On peut se procurer facilement des engrais industriels ou "chimiques" dont les éléments nutritifs (chimiques) sont la plupart du temps sous forme soluble, directement assimilable par les plantes. L'avantage des engrais industriels, c'est que le jardinier peut choisir le ou les nutriments dont il a besoin. Le fumier et le compost ne permettent pas un tel choix, et, en général, le jardinier ne pourra pas obtenir de renseignements précis quant à leur composition.

Les engrais industriels ou chimiques sont parfois critiqués sous prétexte qu'ils sont artificiels, non naturels. Aucune raison valable ne peut justifier ce point de vue. Le premier engrais industriel à base d'azote à apparaître sur le marché a été le nitrate de sodium et il provenait de dépôts de sel naturel du Chili. L'azote qui se trouve dans les trois engrais les plus populaires de nos jours existe à l'état naturel dans le sol partout dans le monde. L'ammoniaque et le nitrate se forment dans le sol sous l'action des bactéries qui décomposent les résidus de plantes qui se trouvent dans le sol. On peut souvent sentir l'odeur de l'ammoniaque dans le fumier, surtout dans les étables de chevaux. Le nitrate se forme dans l'atmosphère sous l'action des éclairs et se mêle aux précipitations. L'urée est une substance à base d'azote excrétée dans l'urine de tous les animaux, y compris l'homme. Les engrais phosphorés sont des sels, et l'ion de phosphate qui se trouve dans ces engrais est le même que celui que l'on trouve à l'état naturel dans le sol et qui provient de la décomposition de résidus de plantes et de fumier. Les engrais à la potasse les plus courants proviennent de dépôts de sels de Saskatchewan ou d'autres endroits du monde. Les engrais au soufre contiennent normalement des sulfates qui font partie des sels d'Epsom et de Glauber que l'on trouve dans nos sols et dans nos lacs salins (alcalins). Il n'y a pas plus de raison de s'inquiéter des sels d'engrais ajoutés à notre sol que du sel de table ajouté à notre nourriture, à condition bien sûr, que l'on suive les recommandations qui ont été faites.

La formule d'un engrais

Les engrais industriels sont décrits par trois chiffres. Ces chiffres (la formule) indiquent quels éléments l'engrais contient et dans quelle proportion. Une loi canadienne visant à protéger le public exige que les emballages des engrais indiquent le pourcentage minimum garanti d'azote (N), de phosphate (P_2O_5) et de potasse soluble (K_2O).

Voici deux analyses typiques telles qu'elles apparaissent sur les sacs d'engrais:

1. Analyse minimum garantie:
   Azote soluble (N) - 21 %
   Azote total (sous forme d'ammoniaque) - 21 %

2. Analyse minimum garantie:
   Azote soluble (N) - 10 %
   Azote total - 10 %
   Acide phosphorique disponible - 30 %
   Acide phosphorique total - 30 %
   Potasse soluble - 10 %

Comme on cite toujours les nutriments dans le même ordre - azote, phosphore et potasse - on désigne les engrais à l'aide de leur formule seulement.

Tableau 2:

Formule	Signification		
	Pourcentage d'azote	Pourcentage de phosphate	Pourcentage de potasse
4-8-6	4	8	6
33,5-0-0	33,5	0	0
11-48-0	11	48	0
0-0-60	0	0	60

SOL ET ENGRAIS

SOL ET ENGRAIS*

QUE TIRE-T-ON DU SOL?

L'analyse chimique des récoltes a fait apparaître le fait que les plantes tirent 16 éléments nutritifs de l'air, de l'eau et du sol. Le carbone, l'oxygène et l'hydrogène sont les principales composantes des tissus végétaux: ils représentent 90 pour cent du poids d'une plante séchée, dans les proportions suivantes: environ 45 pour cent de carbone, 43 pour cent d'oxygène et 6 pour cent d'hydrogène. L'hydrogène et l'oxygène pénètrent dans la plante surtout par l'intermédiaire de l'eau et le carbone provient du gaz carbonique qui se trouve dans l'atmosphère. Les plantes tirent les 13 autres éléments directement du sol.

Comme neuf de ces 16 éléments se trouvent en quantités assez importantes dans les plantes, on parle de macronutriments. Les 7 autres éléments sont des micronutriments parce qu'ils s'y trouvent en quantités plus petites mais non parce qu'ils sont moins importants. Le tableau 3 dresse la liste de tous les macro et micronutriments et indique le montant moyen en kilos de chacun de ces éléments qu'un m^3 de maïs peut tirer du sol.

Si l'on utilise la terre et qu'on ne lui redonne pas ses éléments nutritifs, l'on réduit, à chaque récolte, le montant de nutriments qui s'y trouvent. Finalement, les réserves accumulées au fil des années disparaîtront complètement.

Tableau 3 - Macronutriments et micronutriments utilisés par la plupart des plantes de culture pour se nourrir ou se développer.

Type de nutriment	Élément	Symbole	Nombre moyen de kilogrammes[a]
Macronutriments	azote	N	2320
	phosphore	P	600
	potassium	K	1900
	calcium	Ca	500
	magnésium	Mg	400
	soufre	S	250
Micronutriments	fer	Fe	26
	manganèse	Mn	9
	bore	B	1,7
	zinc	Zn	trace
	cuivre	Cu	trace
	molybdenum	Mo	trace
	chlore	Cl	trace

[a] Pour 1 m^3 de maïs récolté: grains, épis et paille.

* Extrait tiré de B. Barrett et J. Stratton. From Nature to Man. Toronto: Wiley of Canada, 1976. Avec l'aimable autorisation de John Wiley & Sons Canada Limited.

Au fur et à mesure que les matières organiques se décomposent dans le sol, fournissent leurs nutriments et ne sont pas remplacées, elles aussi finissent par disparaître. L'absence de matières organiques se voit au nombre de micro-organismes capables de vivre dans le sol ainsi qu'au montant d'humidité que le sol peut retenir. Bientôt le sol devient aussi dur que du béton et quelle que soit la couche arable qui reste, celle-ci sera sujette à l'érosion. Le cycle si important du sol s'en trouve alors altéré puis totalement détruit. C'est ainsi que l'on épuise le sol là où, auparavant, il y avait un sol riche où les nutriments s'étaient reconstitués naturellement pendant des millions d'années. De tels sols ne peuvent produire que des plantes faibles, des animaux malades et peut-être aussi des êtres humains malades s'ils dépendent des animaux et des récoltes d'une terre semblable pour se nourrir.

En 1953, pendant une sécheresse, le Soil Conservation Research project a rassemblé des renseignements au Missouri. Les données suivantes montrent bien quels sont les effets des nutriments sur une récolte de maïs: dans un sol épuisé, la production a été de 1,57 m^3/ha et il a fallu 2,75 x 10^6 L d'eau pour 1 m^3 de grains; dans un sol riche en éléments nutritifs, la production était de 6,88 m^3/ha et il n'a fallu que 5,9 x 10^5 L d'eau par m^3 de grains.

Des données rassemblées à partir de champs de blé du Kansas montrent que la valeur nutritive du blé a baissé entre 1940 et 1951. L'illustration 2 montre la baisse du taux de protéines contenues dans ce blé. Les protéines sont des substances organiques indispensables au développement de toutes les plantes et de tous les animaux. La valeur nutritive du blé va donc baisser si l'on utilise le sol sans veiller à en maintenir les nutriments dont les plantes ont besoin en quantité suffisante.

L'illustration 3 montre ce qui arrive à l'azote contenu dans le sol lorsqu'on récolte le maïs et le blé sans essayer de rendre à la terre les nutriments qu'il lui faut. L'azote joue un rôle essentiel à la formation des protéines.

Comme le montrent les exemples ci-dessus, la valeur nutritive des aliments diminue au fur et à mesure que diminue le montant d'éléments nutritifs se trouvant dans le sol. De plus, le fermier doit travailler de façon plus énergique et dépenser plus d'argent s'il veut que sa production reste élevée. La sécheresse du Missouri a montré qu'un fermier devrait fournir 2,2 x 10^6 L d'eau de plus par m^3 de maïs cultivé en sol pauvre et qu'ensuite, malgré tout le travail supplémentaire que cela demandait, sa production ne pouvait quand même se comparer à celle qu'il aurait pu avoir avec un bon sol. Nous n'avons choisi ici que quelques cas isolés. Au fil des années, plusieurs millions d'hectares d'excellente terre ont été anéantis par manque de connaissance des soins à apporter à un sol.

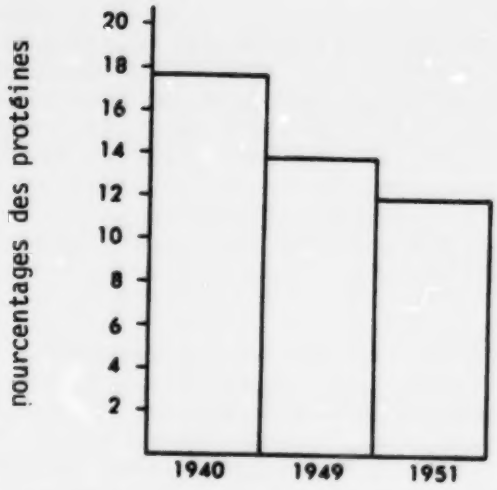


Illustration 2: **Montant de protéines dans le blé**
On a pu constater que, dans plusieurs régions du Kansas, la concentration de protéines à l'état pur contenues dans le blé diminuait chaque année pendant les quelques années qu'à duré l'échantillonnage.

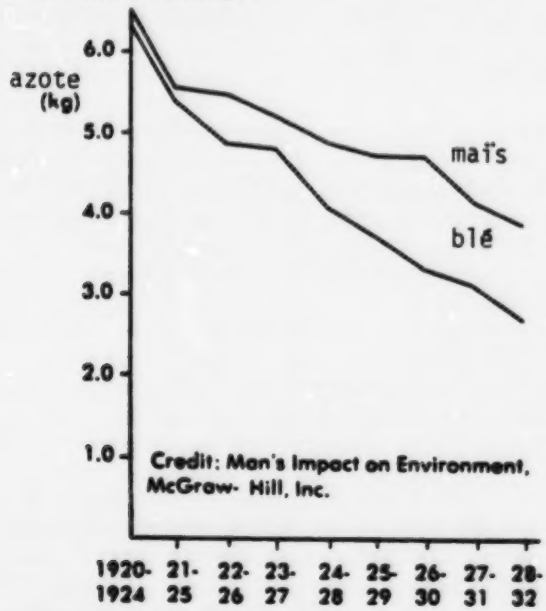


Illustration 3: **Consommation d'azote**
Le montant d'azote utilisé pendant la période de croissance des plantes montre une baisse grave lorsque le sol est usé et qu'on n'essaie pas de l'enrichir. Les montants sont des moyennes enregistrées pendant les périodes de cinq ans indiquées. Tirée de Man's Impact on Environment. Avec l'aimable autorisation de McGraw-Hill, Inc.

Recherche 1 - Substances chimiques du sol

But

Le but de cette recherche est de comparer des échantillons de sols et de déterminer quelles substances chimiques pourraient leur manquer. L'importance des substances chimiques que l'on recherche sera expliquée dans la partie sur les engrais inorganiques, un peu plus loin dans ce chapitre.

Matériel

Échantillons de sol provenant
- d'un jardin possédant une couche arable de bonne qualité
- d'une pelouse
- d'un endroit exposé à l'érosion où peu de plantes protègent le sol
- d'une région de conifères bien établis
- d'un champ, dans une ferme (demandez l'autorisation de prélever cet échantillon avant de le faire)

Marche à suivre

1. À la fin de ce chapitre, vous trouverez une adresse où vous pouvez envoyer les échantillons pour qu'ils soient analysés. Envoyez vos échantillons au laboratoire qui convient. Vous aurez peut-être besoin de récipients particuliers pour le sol: renseignez-vous avant d'envoyer vos échantillons.
2. Quand vous recevrez les résultats, inscrivez-les dans un tableau comme celui indiqué ci-dessous (tableau 4).

Tableau 4

Propriété analysée	Jardin	Pelouse	Zone exposée à l'érosion	Conifères	Ferme
Nitrate					
Phosphate					
Potassium					
pH					

Analyse

1. Si l'on considère que la présence de nitrate, de phosphate et de potassium est indispensable à la fertilité du sol, quel sol est le meilleur parmi ceux que vous avez fait analyser?
2. Classez vos sols selon qu'ils sont acides, neutres, ou basiques. L'importance du pH pour la fertilité du sol a été expliquée au précédent chapitre.
3. Pourquoi pensez-vous qu'un sol prélevé dans un endroit ou un autre contient plus ou moins d'une substance chimique particulière, et pourquoi son pH est-il plus ou moins élevé?

POUR BIEN UTILISER LA TERRE, IL FAUT PRENDRE ET RENDRE

Des programmes de gestion du sol ont été créés dans de nombreux endroits afin de tenter de prévenir la disparition des nutriments contenus dans le sol. Ces programmes tâchent de garantir que les nutriments organiques et inorganiques se maintiennent à des taux convenables. Il visent également à encourager les exploitants agricoles à utiliser des méthodes de labourage et de mise en valeur du sol adéquates, à contrôler l'irrigation et l'évacuation des eaux ainsi que l'érosion quand la couche protectrice de la terre est insuffisante. Tous ces facteurs: le labourage, l'évacuation de l'eau, l'irrigation et l'érosion déterminent la bonne utilisation ou la perte des nutriments; toutefois ils ne peuvent remplacer les nutriments employés par les cultures.

Il faut considérer plusieurs facteurs avant d'ajouter des produits chimiques de façon arbitraire pour augmenter le taux de nutriments disponibles dans le sol. L'un de ces facteurs, c'est le rendement maximal que l'on peut obtenir de cette terre. Le sol d'une région peut très bien ne jamais produire autant que celui d'une autre région, quel qu'en soit le montant d'éléments nutritifs. Un autre facteur consiste à savoir combien il faut d'éléments nutritifs pour une culture particulière. Ceci se trouve dans le tableau 5. De toute évidence, il faut fournir une quantité différente de phosphore, de potassium et d'azote à une culture comme le soya et à une autre telle que le seigle.

Un troisième facteur à considérer est le montant de nutriments déjà présents dans le sol qui nous intéresse. Un sol déjà enrichi ou déjà riche en éléments nutritifs n'aurait besoin que de très peu d'amendement, ou n'en aurait même peut-être pas besoin du tout, au contraire d'un sol épuisé.

Finalement, tandis qu'il est essentiel d'obtenir le meilleur rendement possible, il faut également veiller à ce que la valeur nutritive du produit récolté soit elle aussi élevée. Deux champs de blé peuvent en effet produire le même montant de blé et que le blé de l'un d'eux soit plus riche en protéines que l'autre. Il faut donc fournir à la terre assez de produits chimiques pour que l'on puisse obtenir une récolte d'excellente qualité et aussi une production importante.

Tableau 5

Culture	Azote	Phosphore	Potassium
(1,0 m^3)	(kg)	(kg)	(kg)
Seigle	19	10	15
Soya	63	20	30

Les engrais organiques

Tous les éléments nutritifs essentiels peuvent être fournis sous forme de matières organiques ou d'engrais inorganiques. Les matières organiques les plus courantes sont le fumier de ferme qui provient de chevaux, de vaches, de cochons, de moutons et de volailles. Les restes des cultures comme la paille, les tiges de maïs ou n'importe quelle partie d'une plante qu'on ne peut pas vendre accroissent le montant de matières organiques contenues dans le sol si on les enfonce dans celui-ci. On appelle engrais vert ou verdage toute plante que l'on enfonce dans le sol ou qu'on ne retire pas.

Le fumier de ferme contient tous les macronutriments (N, P, K, Ca, Mg, S) et plusieurs micronutriments. Les restes des cultures, de même que l'engrais vert redonnent au sol des éléments nutritifs qu'ils y avaient pris auparavant. S'il s'agit de légumineuses, le sol récupèrera aussi l'azote, cet élément si important, retenu dans les nodosités de leurs racines. Les plantes que l'on garde pour le verdage ont de plus l'avantage de protéger le sol de l'érosion entre les périodes de culture des produits que l'on peut vendre.

Toutes les matières organiques que l'on ajoute au sol influent sur celui-ci de plusieurs façons en plus de le rendre plus riche en éléments nutritifs. Elles y ajoutent d'autres micro-organismes tels que vers, insectes, bactéries, champignons et humus tout en nourrissant ceux qui s'y trouvent déjà. Elles améliorent les caractères physiques du sol en accroissant sa capacité de rétention de l'eau et en permettant à l'eau de pluie de traverser la couche de surface. Enfin elle rend les engrais inorganiques plus efficaces. Ce dernier point sera étudié plus en détail plus loin dans ce chapitre.

Comme il est possible de faire pousser certaines plantes dans des solutions aqueuses contenant des sels chimiques, on prend parfois pour acquis que les plantes n'utilisent pas les substances organiques du sol. Toutefois, des expériences ont montré qu'il y a plusieurs hydrates de carbure que les plantes absorbent par leurs racines et utilisent en guise de sources d'énergie lorsqu'il n'y a pas de lumière. Quant au fumier d'animaux, il ne se limite pas à fournir des éléments inorganiques pendant longtemps. En effet, on peut constater d'une part que si un sol est utilisé constamment et qu'on ne lui rend pas de matières organiques, il se détériore plus rapidement et devient plus pauvre que si on le prive de nutriments inorganiques ou d'eau.

L'un des effets des matières organiques a déjà été mentionné plus haut: il rend les engrais chimiques plus efficaces. Même si une terre est riche en engrais chimiques, elle peut donner de mauvaises récoltes. Les engrais chimiques sont incapables d'apporter aux plantes les nutriments qu'ils contiennent s'il n'y a pas de matières organiques dans le sol. Les substances chimiques, qui se présentent sous forme d'ions, ont besoin d'eau pour que leurs nutriments parviennent à la racine des plantes. Les matières organiques retiennent l'humidité, en fournissent pendant plus longtemps et, en améliorant la composition du sol, facilitent une meilleure répartition de l'eau dans le sol.

Le tableau 6 illustre les effets de divers nutriments sur trois cultures différentes.

Comme on peut le voir dans ce tableau 6, les matières organiques et les engrais chimiques permettent tous deux d'accroître la production. Dans la nature comme dans une ferme, il y a un rapport direct entre tous les particules organiques et inorganiques déjà présentes dans le sol, celles qu'utilisent les plantes et celles que l'on ajoute une fois la récolte terminée. Toutes ces particules agissent ensemble. Il est impossible d'obtenir une bonne production et des produits nutritifs s'il manque quelque chose au déroulement du cycle naturel. (Voir Illustration 4)

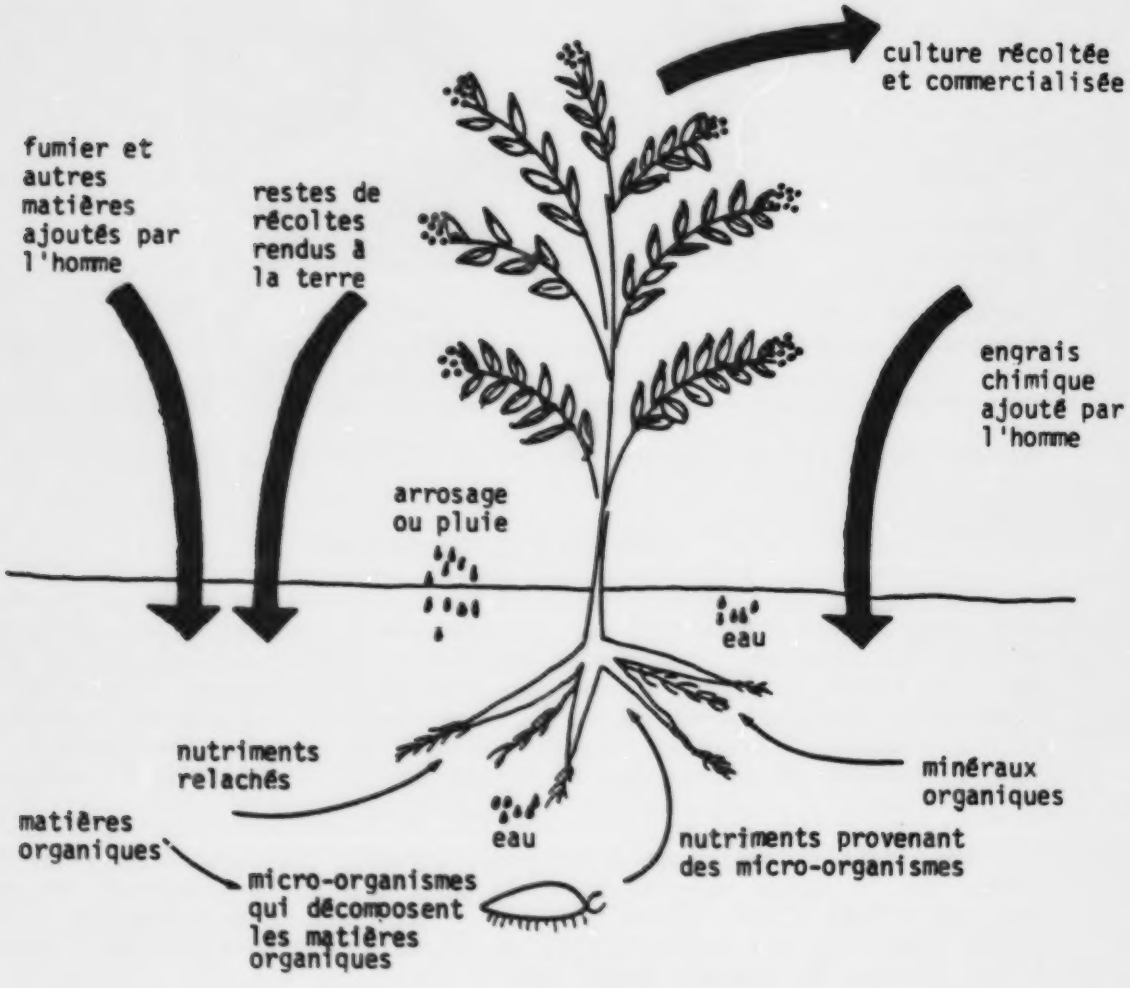


Illustration 4: **Le cycle de la nutrition**
L'eau, les matières organiques et inorganiques et les micro-organismes vivant dans le sol agissent les uns sur les autres de façon complexe. Dans le cas présenté ci-dessus, on a apporté au sol des nutriments organiques et inorganiques de sources externes afin de remplacer ceux qui se sont trouvés perdus au moment de la récolte.

Tableau 6 - Effets produits par les nutriments sur les récoltes

Source des nutriments	Récolte (en m^3/ha)		
	Maïs	Avoine	Blé
Restes de récoltes + très peu d'engrais	5,7	5,1	2,5
Restes de récoltes + montant convenable d'engrais	6,4	5,8	3,0
Fumier + très peu d'engrais	6,3	5,7	3,6
Fumier + montant d'engrais convenable	7,0	6,2	3,9

Source: Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario.

Les engrais inorganiques

Maintenant que nous avons insisté sur la nécessité d'utiliser des matières organiques et sur les effets que ces matières produisent au niveau de la production des récoltes, nous devons souligner l'importance des divers éléments que l'on ajoute lorsqu'on emploi des engrais inorganiques. Ces éléments s'y trouvent en quantité considérable sous une forme que les plantes peuvent absorber facilement. Toutefois, il peut s'écouler un certain temps avant qu'ils ne soient relâchés et là encore, il arrive qu'ils soient relâchés en quantités insuffisantes.

Les trois éléments que l'on trouve le plus fréquemment dans les engrais vendus sur le marché sont l'azote, le phosphore et le potassium; en effet ce sont les éléments dont les culture ont le plus besoin en grande quantité et on ne les rencontre pas toujours sous une forme assimilable par les plantes dans le sol ou dans des engrais organiques.

Selon la culture et la qualité du sol, les fermiers peuvent ajouter des engrais contenant ces trois éléments dans des proportions diverses. Le pourcentage de chacun de ces éléments est indiqué sur l'emballage par trois chiffres, par exemple 5-12-10. Tous les fermiers savent qu'un sac de 100 kg de cet engrais contient 5 kg d'azote (N), 12 d'acide phosphorique disponible (P_2O_5) et 10 kg de potasse soluble dans l'eau (K_2O). Les 73 autres kilos se composent surtout de calcium, de magnésium, de soufre, d'oxygène et d'hydrogène, éléments également nécessaires aux plantes.

Illustration 5: Les sacs d'emballage des engrais montrent clairement le pourcentage d'azote, de phosphore et de potassium qu'ils contiennent et donnent aussi d'autres renseignements utiles.

Recherche 2 - Les effets des engrais inorganiques

But

Le but de cette recherche est de déterminer quels sont les effets de trois engrais inorganiques sur des plantes de haricots et de les comparer.

Renseignements utiles

Les engrais utilisés pour cette expérience ne contiennent chacun qu'un seul des éléments de base comme l'azote, le phosphore et le potassium. Ce sont d'une part un nitrate d'ammoniaque (33 % N), et d'autre part un superphosphate (20 % P_2O_5) et un muriate de potasse (60 % K_2O). Certains emballages peuvent avoir une composition ou un nom différents, dépendant du fabricant. Ce qui est important c'est que la formule donnée sur l'emballage, là où l'on en donne le contenu, donne le même pourcentage de l'élément qui nous intéresse que celui indiqué plus haut.

Il faut ajuster la quantité d'engrais à la taille des plateaux utilisés s'ils sont plus petits ou plus grands que ceux demandés dans la section du "Matériel". On utilise du sable plutôt que de la terre de façon que les plantes ne puisent que les éléments chimiques contenus dans l'engrais. La terre contient toujours des substances chimiques qui risquent de perturber les résultats tandis que le sable n'en contient pas.

Matériel

Pour chaque groupe d'élèves:
- 3 plateaux en plastique (25 cm x 52 cm x 6 cm)
- 3 séparateurs en bois ou en plastique (6 cm x 52 cm) pour chaque plateau
- du sable en quantité suffisante pour que les plateaux en aient tous 5 cm d'épaisseur
- 40 haricots de Lima par plateau
- de l'eau du robinet ou de l'eau distillée
- engrais de nitrate d'ammoniaque (33 % N)
- engrais de superphosphate (20 % P_2O_5)
- muriate de potasse (60 % K_2O)
- balance
- spatule ou petite cuiller

Marche à suivre

1. Remplir les trois plateaux de sable jusqu'à 1 cm du haut. Placer les séparateurs comme indiqué sur l'illustration 6, de façon que les plateaux soient divisés en quatre parties égales. Les séparateurs doivent toujours toucher le fond du plateau.
2. Peser la quantité d'engrais qui convient (voir le tableau 7). Verser cette quantité uniformément à la surface du sable dans une section d'un des plateaux. Une section de chaque plateau restera sans engrais. C'est la section de contrôle. Les quantités d'engrais indiquées dans le tableau 7 ont été ajustées de façon que l'on utilise un même pourcentage de chaque engrais. Ainsi le superphos-

phate a 20 % de P_2O_5 tandis que le muriate de potasse a 60 % de K_2P. La quantité de potasse utilisée est donc d'environ 1/3 celle de phosphate puisque sa concentration est trois fois supérieure. Le montant de nitrate d'ammoniaque a été ajusté de la même façon.

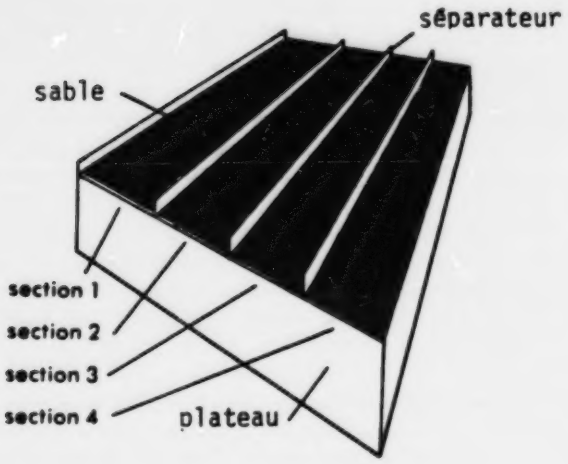


Illustration 6

3. Après avoir versé toutes les substances chimiques, mélangez-les au sable de surface jusqu'à 1 cm de profondeur. Placez 10 haricots à distance égale dans chacune des sections et enfoncez-les à environ 1 cm de profondeur avec votre doigt.
4. Arroser le sable de façon uniforme et placer les plateaux près d'une fenêtre ou sous des lampes horticoles. Quand les plantes sortiront de terre, ils auront tendance à se tourner vers la lumière. Si vous voulez qu'ils poussent droits, tournez les plateaux chaque fois que c'est nécessaire: ils se redressent.

Tableau 7

	Plateau 1 Montant de nitrate d'amoniaque ajouté (g)	Plateau 2 Montant de superphosphate ajouté (g)	Plateau 3 Montant de muriate de potasse ajouté (g)
Section 1	0,0 (contrôle)	0,0 (contrôle)	0,0 (contrôle)
Section 2	0,15	0,25	0,08
Section 3	1,5	2,5	0,8
Section 4	15,0	25,0	8,0

Observations

1. Notez dans votre cahier tout changement qui se produit d'un jour à l'autre et présente un intérêt particulier. Préparer sur une page entière un tableau semblable à celui présenté en 8. Indiquez-y à quel moment les plantes sont sortie du sable et combien d'entre elles sont sorties. Si quoi que ce soit vous paraît inhabituel dans l'aspect qu'elles présentent, indiquez-le également. Vous ne remarquerez peut-être pas quelque chose chaque jour, aussi n'écrivez que ce que vous observez les jours où vous constatez des changements.
2. Environ 15 jours après le début de l'expérience, notez vos conclusions dans un autre tableau semblable à celui présenté en 9.
3. Il est difficile de voir comment les choses évoluent et de faire des comparaisons lorsqu'on se trouve devant une grande quantité de chiffres comme c'était le cas avec le tableau 8. Quand on utilise des graphiques, on peut présenter les données de telle façon que les effets des divers engrais, ou des mêmes engrais mais à des concentrations différentes, apparaissent sur une même feuille de papier quadrillé comme indiqué sur l'illustration 7.
4. Si vous examinez les graphiques de haut en bas vous pouvez comparer les effets des trois engrais sur une propriété à la fois. Si vous examinez les graphiques de gauche à droite, vous pouvez voir quels sont les effets de chacun des engrais sur les trois propriétés différentes.

Tableau 8

Date _____ Associés _____

		Jour 1	Jour 2	...
Plateau 1	0,0 g de nitrate d'ammoniaque 0,15 g de nitrate d'ammoniaque 1,5 g de nitrate d'ammoniaque 15,0 g de nitrate d'ammoniaque			
Plateau 2	0,0 g de superphosphate 0,25 g de superphosphate 2,5 g de superphosphate 25,0 g de superphosphate			
Plateau 3	0,0 g de potasse 0,08 g de potasse 0,8 g de potasse 8,0 g de potasse			

Tableau 9

		Nombre de graines ayant germé	Taille moyenne des plantes (cm)	Taille moyenne des premières feuilles (cm)
Plateau 1	0,0 g de nitrate d'ammoniaque 0,15 g de nitrate d'ammoniaque 1,5 g de nitrate d'ammoniaque 15,0 g de nitrate d'ammoniaque			
Plateau 2	0,0 g de superphosphate 0,25 g de superphosphate 2,5 g de superphosphate 25,0 g de superphosphate			
Plateau 3	0,0 g de potasse 0,08 g de potasse 0,8 g de potasse 8,0 g de potasse			

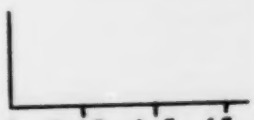
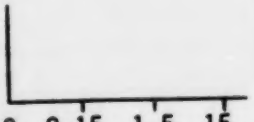
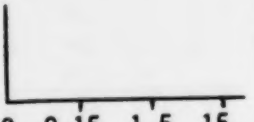
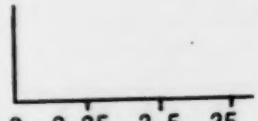
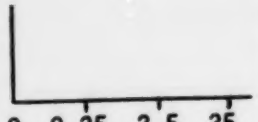
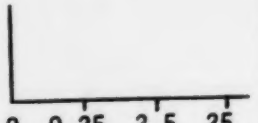
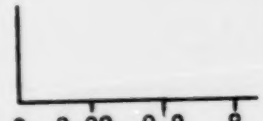
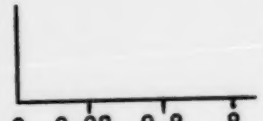
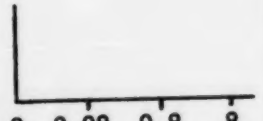
	Nombre de graines ayant germé	Taille moyenne des plantes (cm)	Taille moyenne des feuilles (cm)
Plateau 1 Nitrate d'ammoniaque			
Plateau 2 Super-phosphate			
Plateau 3 Potasse			

Illustration 7

Analyse

1. Décrivez l'effet de chaque engrais, selon la concentration à laquelle il a été employé, sur la germination, la taille des plantes et celle des feuilles.
2. Quel engrais est le meilleur? Expliquez votre choix.
3. Se trouve-t-il un engrais que l'on pourrait qualifier de mauvais pour les plantes? Expliquez votre réponse.
4. De quelle façon un engrais pourrait-il être bon pour les plantes même si les qualités ne sont pas apparues au cours de cette expérience?
5. Si un fermier faisait une expérience de ce type sur sa terre, pourquoi les résultats seraient-ils différents?

Approfondissement

Si plusieurs groupes font cette expérience, plutôt que de leurs demander de faire tous la même chose, vous pourriez leur proposer les changements ou les prolongements suivants:

1. Mélangez du fumier ou une autre matière organique au sable et observez si les engrais se comportent de façon différente.
2. Utilisez de plus fortes concentrations ou d'autres situées dans les limites de celles recommandées afin d'avoir une idée plus nette du rôle que joue la concentration.
3. Mélangez deux des trois engrais ou les trois et dites s'ils sont plus efficaces ensemble.

L'azote dans les engrais

Des trois principaux éléments que contiennent les engrais, c'est normalement l'azote qui est nécessaire aux cultures en plus fortes quantités. Le tableau 10 montre quelles sont les principales sources de l'azote ainsi que ses fonctions de fertilisation. Dans le cycle naturel de l'élément que l'on appelle azote, la plante ne peut absorber l'azote que sous forme d'ion de nitrate (NO_3-) et quelquefois d'ion d'ammoniaque (NH_4+). Du fait qu'il faut une série de transformations des matières organiques et plusieurs sortes de bactéries pour changer l'azote en nitrate, il peut arriver que les ions de nitrate ou d'ammoniaque se trouvent en quantité insuffisante lorsque les plantes en ont besoin. C'est dans ces circonstances qu'un engrais acheté sur le marché peut être très utile. En mettant de l'azote dans le sol sous une forme que les plantes peuvent immédiatement utiliser, les fermiers peuvent être sûrs que le sol contient assez d'éléments nutritifs pour produire une bonne récolte. Souvenez-vous que tout l'azote contenu dans les cultures ou chez les animaux ne retourne pas à la terre comme cela se produit naturellement puisque les fermiers envoient les plantes et les animaux qu'ils produisent sur le marché avec les nutriments qu'ils contiennent.

On utilise maintenant beaucoup plus d'engrais riches en nutriments, mais c'est l'utilisation de l'azote qui a augmenté le plus. En 1968, on faisait entrer 22×10^9 kg d'azote dans la fabrication des divers engrais par le monde. Quatre-vingt-dix pour cent de cet azote se présentait sous forme de NH_3 ou de NH_4+, et le reste sous forme de NO_3-. La raison de ceci tient au fait que les ions de NH_4+ mettent beaucoup de temps à pénétrer dans le sol puisqu'ils sont positifs et se trouvent par conséquent attirés par l'argile et les particules organiques qui sont chargées négativement. Les ions de NO_3- possédant au contraire une charge négative, ils traversent le sol très rapidement, à la même vitesse que l'eau qui s'infiltre dans le sol. Ceci est très ennuyeux et les fermiers qui ont acheté du nitrate ne veulent pas le perdre de cette façon. De plus, l'augmentation des ions de nitrate se trouvant dans nos réserves d'eau peut occasionner des problèmes qui seront discutés ultérieurement. La recherche suivante fait ressortir les diverses propriétés des ions d'ammoniaque et de nitrate et leur effet sur les échantillons d'un même sol.

Tableau 10 - Renseignements sur l'azote

Rôle sur les cultures	Sources naturelles	Formes sous lesquelles on le trouve en général dans les engrais disponibles sur le marché
1) Améliore la qualité des cultures à larges feuilles en permettant une bonne croissance des plantes et une belle couleur verte. 2) Sert à la formation des protéines contenues dans les cultures. 3) Nourrit les micro-organismes contenus dans le sol tandis qu'ils décomposent les matières organiques.	1) L'atmosphère contient 78 pour cent de N_2, mais peu de plantes peuvent l'absorber sous cette forme. 2) Les éclairs combinent du N_2 et de l'O_2 et créent du No^2 qui pénètre avec l'eau dans le sol où il devient du NO_3- (un ion utile). (2 à 22 (kg/ha)/a). 3) Les micro-organismes se trouvant dans le sol transforment le N_2 et les autres composés du N en ions utiles comme l'ammoniaque (NH_4+) et le nitrate (NO_3-) (jusqu'à 225 (kg/ha)/a). 4) Composés d'azote organique tels que les protéines (se trouvant dans les restes des cultures), l'urée et l'acide urique (provenant du fumier). 5) On trouve des carrières naturelles de certaines formes de nitrate au Chili.	1) Nitrate de soude ($NaNO_3$) 16 % N) qui contient le très utile ion NO_3-. 2) Nitrate d'ammoniaque (NH_4NO_3) (33 % N) qui contient à la fois des ions NH_4+ et des ions NO_3-. 3) Sulfate d'ammoniaque ($(NH_4)_2$ SO_4) (21 % N) qui contient des ions NH_4+. 4) Urée ($CO(NH_2)_2$ (46 % N) qui libère lentement des ions NH_4+ au fur et à mesure qu'elle subit des réactions dans le sol. 5) Ammoniaque (gaz ou liquide) (NH_3) (82 % N) se transforme en NH_4+ une fois injecté dans le sol. 6) On utilise du phosphate d'ammoniaque, du cyanamide calcique et quelques autres substances chimiques, mais pas autant que les substances citées ci-dessus.

Recherche 3 - Le lessivage

But

Le but de cette recherche est d'étudier quel est l'effet de lessivage produit par l'eau lorsqu'elle traverse un sol qui contient un engrais.

Renseignements utiles

L'engrais qui sera employé pour cette expérience est du nitrate d'ammoniaque. Il s'agit d'une substance chimique qui libère des ions d'ammoniaque (NH_4+) et de nitrate (NO_3-) dans l'eau. Sa formule chimique est NH_4NO_3 et, comme le montre cette formule, il contient un ion NH_4+ pour chaque ion NO_3-. Les différences que l'on pourrait remarquer au cours de l'expérience ne proviendront donc pas du fait qu'il y a plus d'ions d'une sorte que de l'autre dans la solution. Les colonnes en verre donnent un profil simplifié du sol. Même s'il s'agit d'un profil extrêmement simplifié, les matériaux employés sont ceux que l'on trouve dans la plupart des sols et les solutions entreraient de toute façon en contact avec eux.

Matériel

- 1,0 g de nitrate d'ammoniaque (engrais ou substance chimique pure)
- balance
- deux colonnes en verre ou en plastique d'1 m environ de longueur et de 3 ou 4 cm de largeur
- eau distillée
- graviers, sable et terre
- tubes en verre de 0,5 cm de diamètre externe — pour chaque colonne
- bouchon de caoutchouc à un trou — pour chaque colonne
- flacons Erlenmeyer de 2250 mL — pour chaque colonne
- trousse d'expérimentation sur le nitrate
- trousse d'expérimentation sur l'ammoniaque

Marche à suivre

1. Dissoudre environ 1,0 g de nitrate d'ammoniaque (engrais vendu sur le marché ou substance chimique pure) dans 250 mL d'eau distillée. Versez cette solution dans l'une des colonnes et recueillez-la lorsqu'elle sort du tube. Si la solution reste dans le tube ou qu'il en coule trop peu, versez de nouveau de l'eau distillée jusqu'à ce que vous puissiez obtenir 1 cm de solution dans le flacon.
2. Dans la deuxième colonne, versez 250 mL d'eau distillée et recueillez le liquide qui traverse la colonne. Versez-en davantage si vous ne recueillez pas 1 cm de liquide dans le flacon.
3. A l'aide de la trousse d'expérimentation sur l'ammoniaque, déterminez la concentration en ions d'ammoniaque de la solution recueillie à la sortie des deux colonnes. Si la concentration est trop élevée pour la trousse que vous utilisez, diluez la solution de 1/10^{e} autant de fois que c'est nécessaire pour obtenir un résultat à l'aide de votre matériel.

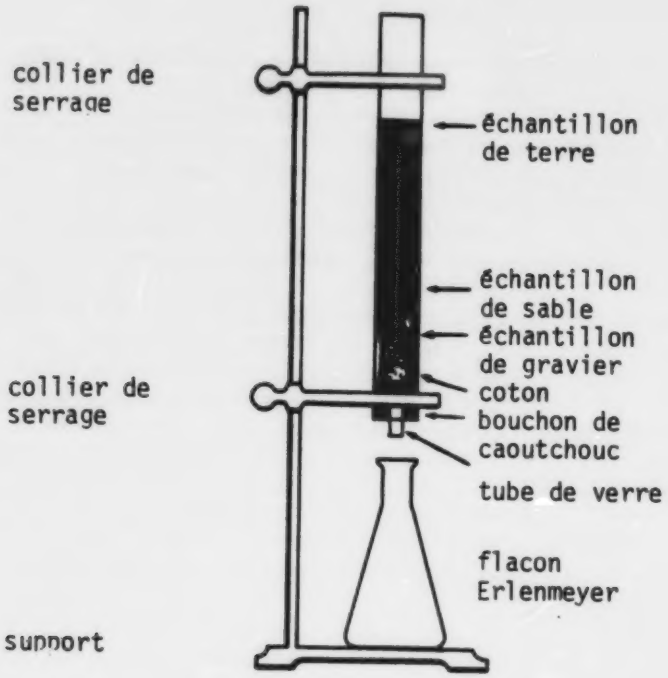


Illustration 8: Installation des deux colonnes

4. Refaire l'étape n° 3 en utilisant le matériel d'expérimentation sur le nitrate afin de déterminer quelle concentration d'ions de nitrate on trouve dans les solutions recueillies à la sortie des deux colonnes. Il se peut que vous ayez besoin de diluer votre solution d'1/10^{e}, ou plus, dépendant du type de trousse que vous utilisez.
5. Inscrivez les résultats dans un tableau semblable à celui présenté en 11. Souvenez-vous que vous devez réajuster les concentrations si vous avez dilué les solutions aux étapes 3 ou 4. Ainsi, si vous avez dilué votre solutions d'1/10^{e} deux fois, vous devez multiplier votre résultat final par 100 pour obtenir la concentration en ions de la solution originale.

Tableau 11

	A	B	C
Test effectué	Concentration en ions dans la colonne où l'on a versé de l'engrais (ppm)	Concentration en ions dans la colonne où l'on a versé de l'eau (ppm)	A - B
Ions d'ammoniaque Ions de nitrate			

Analyse

1. Si l'on peut mesurer la concentration des ions de NH_4+ et de NO_3- dans la solution ne contenant que de l'eau, pourquoi doit-on la soustraire du résultat obtenu avec la solution contenant de l'engrais?
2. Comparez la concentration de NH_4+ indiquée dans la colonne C à celle de NO_3- dans la colonne C également. Si les 2 ions traversent le sol de la même façon, comment pouvons-nous les comparer?
3. Quel ion le sol retient-il le mieux? Expliquez pourquoi un type d'ions reste tandis que l'autre est lessivé plus facilement.

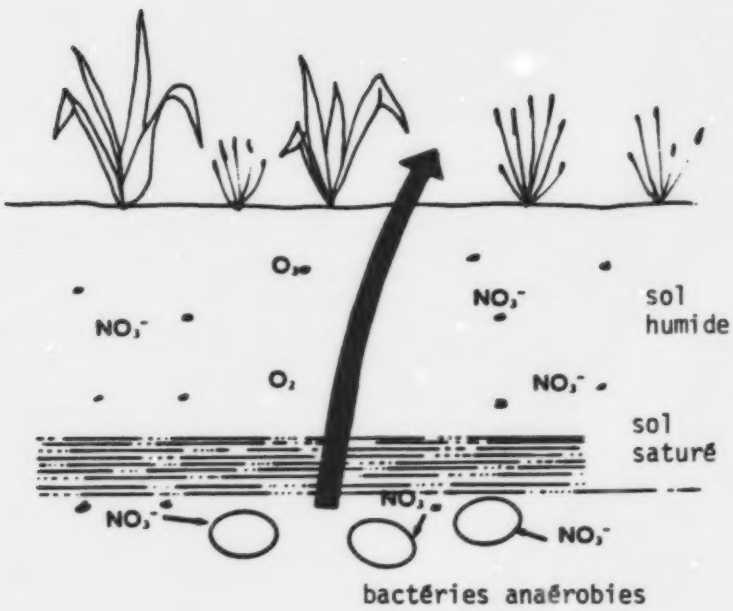


Illustration 9: la dénitrification du sol
Si le sol se sature, les bactéries anaérobies se nourrissent en transformant le NO_3 en azote. Les sols saturés contiennent très peu d'oxygène.

LA LUTTE CHIMIQUE

LA LUTTE CHIMIQUE*

LA GUERRE CONTRE LES INSECTES

Aussi loin que l'on puisse remonter dans l'histoire de l'humanité (et probablement même bien avant), l'être humain a dû lutter contre des fléaux apportés par des insectes. Trois des 10 fléaux qu'à connu l'Egypte (ils ont été décrits dans le Livre de l'Exode) étaient dus à des insectes - les Poux, les Mouches et les Sauterelles. Le déclin de la civilisation romaine a été attribué en partie à la malaria, maladie qui se transmet par les Moustiques et détruit la vigueur et la vitalité quand elle ne tue pas carrément. La peste noire est transmise par les rats mais ce sont les puces qui la transmettent des rats à l'homme; cette peste a dévasté le monde occidental plusieurs fois au moyen âge. L'une de ces épidémies de peste (celle des années 1660) aurait, pense-t-on, fait 25 millions de victimes - 25 % de la population européenne de l'époque. La première fois que l'on a essayé de creuser un canal à Panama (c'était une tentative des Français dans les années 1880), c'est la malaria qui a empêché que ce projet n'aboutisse.

L'utilisation des pesticides chimiques est peut-être le seul moyen qui se présente à nous pour nous protéger de ces fléaux dus à certains insectes. Les pesticides empêchent d'autre part que les insectes ou autres animaux nuisibles ne consomment une partie importante de nos provisions. Les pertes sur les récoltes dues aux insectes ont été estimées aux Etats-Unis à 4 milliards de dollars par an. Quand on y ajoute les pertes dues à d'autres animaux ou organismes nuisibles - rongeurs, champignons, nématodes et mauvaises herbes, les pertes s'élèvent à 15 milliards de dollars par an.

Autrefois, on tentait de lutter contre les insectes en asséchant les marais, en déversant de l'huile dans les mares (afin de tuer les larves de Moustiques), et en utilisant toutes sortes de produits chimiques. La plupart de ces produits étaient des composés de l'arsenic. L'arséniate de plomb [$Pb_3(AsO_4)_2$] est un poison particulièrement efficace puisque ses deux composantes, l'arsenic et le plomb, sont toxiques. Certains pesticides comme la pyréthrine (que l'on utilise pour lutter contre les Moustiques) et le sulfate de nicotine (Black Leaf 40) proviennent de plantes.

Seuls quelques insectes sont nuisibles. Un grand nombre au contraire sont utiles et d'autres jouent un rôle important dans les écosystèmes si bien que l'on pourrait dire qu'ils sont utiles, même si ça n'est qu'indirectement. La plupart des poisons ne sont pas capables de les différencier. Ils tuent tous les insectes, pas seulement les insectes que nous considérons comme nuisibles. La plupart de ces poisons sont également toxiques pour les êtres humains et les autres animaux. Certaines personnes pensent qu'on devrait les nommer "biocides" (car ils tuent ce qui vit) plutôt qu'insecticides. Le tableau 12 indique le degré de toxicité de quelques insecticides.

---

* Extrait tiré de J.W. Hill, et al. Chemistry for Changing Times, 4e édition. Minneapolis: Burgess, 1980. Avec l'aimable autorisation de © Burgess Publishing Co. 1975.

Exemple: Combien faudrait-il de lindane pour tuer un enfant de 10 kg, la dose léthale de ce produit étant évaluée à 88 mg par kilo?

$$10 \text{ kg} \times \frac{88 \text{ mg}}{1 \text{ kg}} = 880 \text{ mg ou } 0{,}88 \text{ g}$$

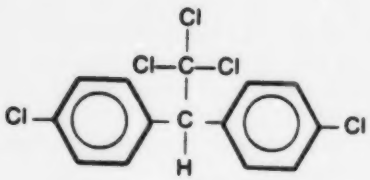
Tableau 12
Toxicité de quelques mélanges insecticides administrés par voie buccale à des rats

Pesticide	DL 50 (Nombre de milligrammes de pesticides nécessaires par kilo pour que la dose léthale atteigne 50 % des individus
Pyréthrine*	1200
Arséniate de plomb	800
Carbaryl	540
DDT	113†
Lindane	88
Sulfate de nicotine‡	55
Dieldrine	46
Parathion	17
Endrin	8
Parathion	5

* Élément actif du pyrèthre
† La dose léthale médiane (DL 50) pour les êtres humains est estimée à 500 mg/kg
‡ La nicotine est beaucoup plus toxique par injection

Le DDT

Peu avant la deuxième guerre mondiale, on a découvert qu'un hydrocarbure de chlore (le DDT) était un insecticide puissant. Cette découverte a été faite en Suisse par Paul Muller. Le DDT a été testé et on a trouvé qu'il était assez bon pour lutter contre des insectes s'attaquant aux vignes et très efficace pour lutter contre une infestation particulièrement terrible de Doryphores (un coléoptère qui s'attaque aux pommes de terre).



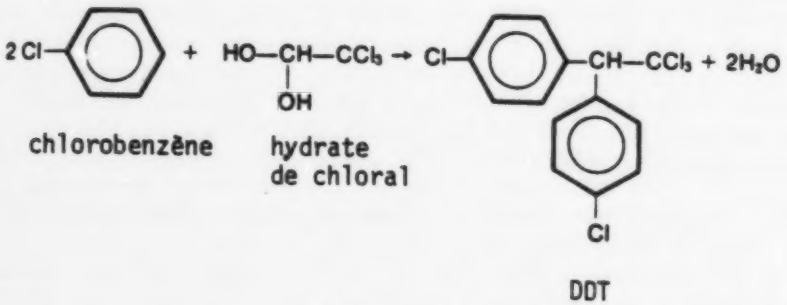
DDT
(dichlorodiphényltrichloroéthane)

Pendant la guerre, l'occupation du sud-est asiatique et des Indes hollandaises (maintenant l'Indonésie) par les Japonais interrompit l'approvisionnement en pesticides à base de pyrèthre. Quant aux mélanges à base de plomb, d'arsenic et de cuivre que l'on avait aussi utilisés comme insecticides, on en avait besoin pour fabriquer des armes ou pour d'autres utilisation militaires. Les Britanniques et les Américains avaient alors besoin d'un insecticide qui protègerait les soldats des Poux et des Tiques (qui transmettent le typhus). Quant à ceux qui devraient se battre dans la jungle dans le Pacifique sud, il fallait les protéger des Moustiques ainsi que des autres insectes porteurs de maladie.

Un insecticide miracle

Les Alliés se procurèrent donc quelques kilos de DDT qu'ils testèrent à la hâte. Mélangé à du talc, ce fut une poudre très efficace contre les Poux. On imprégnait les vêtements de DDT et, par bonheur, il ne semblait pas y avoir d'effets néfastes aux humains ni aux autres animaux de grande taille. Les soldats alliés se trouvèrent donc pour ainsi dire débarrassés des Poux. Les Allemands, eux, ont manqué l'occasion vis-à-vis du DDT (tout comme vis-à-vis de la bombe atomique), malgré le fait que celui-ci avait été découvert juste de l'autre côté de leur frontière. Les troupes allemandes souffrirent donc d'une terrible infestation de Poux et un grand nombre de soldats furent atteints par le typhus. Pendant les guerres qui ont précédé la 2e guerre mondiale, il est probable que plus de soldats sont morts du typhus que de blessures.

Le DDT peut être synthétisé facilement à l'aide de produits chimiques bon marché et faciles à obtenir. Le chlorobenzène et l'hydrate de chloral sont réchauffés en présence d'acide sulfurique.



chlorobenzène hydrate de chloral DDT

Quand la réaction est terminée, on verse le mélange dans de l'eau et le DDT se sépare par précipitation (comme les autres hydrocarbures de chlore, le DDT est insoluble dans l'eau).

Insecticide bon marché et efficace contre toutes sortes d'insectes, le DDT a été très utilisé après la guerre. D'autres hydrocarbures de chlore ont pu être synthétisés, testés, et utilisés dans cette guerre qu'on livrait aux insectes. Même s'ils ne pouvaient servir aux fermiers à produire de la nourriture ou des fibres, les hydrocarbures de chlore gagnèrent leurs plus grandes victoires sur le terrain de la santé publique. Selon l'Organisation mondiale de la Santé, environ 25 millions de vie ont été sauvées et des centaines de millions de maladies évitées grâce à l'utilisation du DDT et d'autres pesticides à base d'hydrocarbure de chlore. En Inde seulement, le nombre de cas de malaria est passé de 75 à 5 millions par an. L'espérance moyenne de vie en Inde a augmenté de 15 ans après que le programme d'éradication des Moustiques a été mis en place en 1954.

Le Sri Lanka aussi (anciennement Ceylan) offre une preuve bouleversante des bienfaits du DDT sur la santé publique: en 1946, il y avait là 2,8 millions de cas de malaria; en 1963, la vaporisation de DDT avait réduit ce montant à seulement 17 cas. Le programme de vaporisation a été interrompu en 1964 et, en 1968, le nombre de cas était remonté à plus d'un million par an.

Avec le DDT, on semblait avoir réalisé un rêve. Il semblait qu'enfin le monde serait libéré des fléaux apportés par les insectes et des maladies transmises par eux. Les récoltes seraient protégées de leurs ravages et la production alimentaire augmenterait. Le millénium était à portée de la main. En récompense de sa magnifique découverte, Paul Muller reçut le Prix Nobel de médecine et de physiologie en 1948.

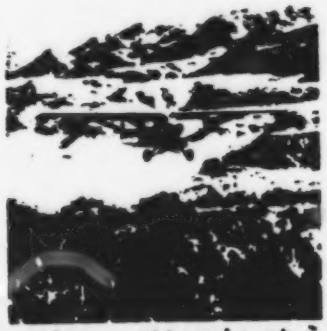


Illustration 10: Le premier avion a atterrir et à décoller des rives de la Mer Morte (le 24 octobre 1955) avait pour mission de vaporiser des insecticides contre les moustiques dans la région de Gora Sofi, en Jordanie. Cette vaporisation avait lieu dans le cadre d'un projet de démonstrations publiques organisé par le U.S. Department of State, au Moyen-Orient, en Asie et en Afrique. Les Etats-Unis sont les plus grands producteurs de DDT du monde. (Don du U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.)

La fin d'un rêve: déclin et chute du DDT

Avant même que Muller ne reçoive son prix pourtant, il y avait eu certains avertissements que tout n'était pas pour le mieux dans le meilleur des mondes. Dès 1946, on avait rapporté l'existence des mouches domestiques résistantes au DDT. Quant au danger que représentait le DDT pour les poissons, il était connu en 1947. Quant vint 1948, on avait découvert que 11 autres espèces d'insectes possédaient une résistance semblable à celle de la mouche. La plupart du temps, on ne tint pas compte de ces avertissements précoces car on pensait que la toxicité du produit disparaîtrait peu de temps après qu'il aurait été déversé dans l'environnement. On utilisait donc le DDT sur une grande échelle pour protéger les récoltes et contrôler les moustiques et aussi pour tâcher d'éviter la propagation de la maladie des ormes. Le nombre d'oiseaux baissa de plus en plus en régions agricoles. En 1962, l'année de publication du livre de Rachel Carson Silent Spring (Un printemps silencieux), la production annuelle de DDT atteignait aux États-Unis 76 millions de kg.

De nos jours, dans les pays industrialisés, nous connaissons surtout le DDT pour le danger qu'il représente pour l'environnement. On sait qu'il empêche la fixation du calcium par métabolisme. Les oiseaux sont les premiers menacés car la coquille de leurs oeufs se compose essentiellement de calcium. Les oeufs des oiseaux qui ont absorbé de DDT ont une coquille fine, mal formée et cassante. Il suffit de quelques parties par milliard (ppm) de DDT pour que la croissance du plancton et la reproduction de crustacés tels que les crevettes soient perturbées. Même si ceci fait penser que le DDT est terrible, il est probable que ce produit a sauvé la vie de plus de monde qu'aucun autre.

Dans les pays industrialisés, on a banni l'utilisation du DDT, mais ce produit est encore très utilisé dans les régions moins développées du monde. Malheureusement, il n'est plus efficace contre les insectes nuisibles qu'il avait auparavant réussi à anéantir. Un grand nombre d'insectes sont parvenus à créer en eux une résistance au DDT et aussi à d'autres insecticides. Et les insectes résistants peuvent maintenant neutraliser les produits chimiques qui s'étaient avérés si puissants contre leur espèce auparavant. Les mouches résistantes peuvent supporter des doses de 100 g de DDT par kilo, soit l'équivalent de 6 kg pour un être humain de 60 kg.

Les hydrocarbures chlorés sont en général non réactifs. Ce manque de réactivité était au départ un des principaux avantages du DDT. Quand on en aspergeait une récolte, le DDT restait dessus et continuait à tuer des insectes pendant des semaines. Mais cette persistance était également un grand inconvénient car cette substance ne pouvait pas se décomposer facilement dans l'environnement. Peu toxique pour les êtres humains et les animaux à sang chaud, le DDT est beaucoup plus dangereux pour les organismes vivants à sang froid. Parmi ceux-ci il y a les insectes, bien sûr, mais aussi les poissons. Le manque de réactivité du DDT à l'oxygène, à l'eau, aux divers éléments qui composent le sol a fait qu'il s'est fixé dans l'environnement où il a mis la vie des poissons, des oiseaux et de bien d'autres espèces fauniques en péril.

Les hydrocarbures chlorés peuvent dissoudre les graisses facilement. Mais le contraire est vrai aussi; les graisses peuvent dissoudre facilement les hydrocarbures chlorés comme le DDT. Ainsi, quand ces produits se trouvent dans la nourriture ou l'eau qu'ils contaminent, ce sont les tissus graisseux qui les

isolent et les conservent. Le fait qu'ils soient solubles dans les graisses explique pourquoi les hydrocarbures chlorés apparaissent dans des concentrations de plus en plus fortes au fur et à mesure qu'on remonte le long de la chaîne alimentaire. En 1957, cette amplification biologique a été expliquée en Californie sous forme de graphique. Situé à une centaine de miles au nord de San Francisco, le lac Clear Lake avait été aspergé de DDT dans l'espoir de venir à bout d'une infestation de moucherons. Après avoir été aspergée, l'eau ne contenait que 0,02 ppm de DDT. Les plantes et animaux microscopiques en contenaient 5 ppm, soit 250 fois plus. Les poissons qui se nourrissaient de ces microorganismes en avaient jusqu'à 2000 ppm. Et les grèbes, oiseaux aquatiques qui se nourrissent de poissons, sont morts par centaines (Illustration 11).

Le DDT et les autres hydrocarbures chlorés comme les PCB sont des poisons qui attaquent le système nerveux. Concentrés dans les mélanges graisseux qui composent l'enveloppe protectrice des nerfs, ils parviennent à perturber la transmission des influx électriques le long de cette enveloppe. Le DDT perturbe également la fixation du calcium par le métabolisme, élément essentiel pour la formation de dents et d'une ossature saines. Même si on n'a jamais pu prouvé qu'il présentait du danger pour les êtres humains, on a pu constater chez les oiseaux que la perturbation de la fixation du calcium par le métabolisme était tout à fait désastreuse pour certaines espèces. La coquille de leurs oeufs, qui se compose principalement de calcium, est alors fine et mal formée. L'Aigle à tête blanche, l'emblème national des Etats-Unis, est devenu une espèce menacée. Le Faucon pélerin est presque éteint. Dans certaines colonies de Faucons, pas un oeuf n'a survécu à la période de couvaison. Si l'homme se reproduisait au moyen d'oeufs contenus dans les coquilles, on se serait préoccupé beaucoup plus tôt des effets du DDT.

Le fait que la nature soit capable de se remettre de cette situation - du moins du montant de DDT utilisé jusqu'alors -, se voit par le retour du Merle d'Amérique dans les prairies du centre des Etats-Unis. Le nombre de ces messagers du printemps est revenu à ce qu'il était avant l'emploi de DDT. Quant aux Aigles à tête blanche et aux Faucons pélerins, quoique toujours menacés, ils semblent eux aussi reprendre du terrain.

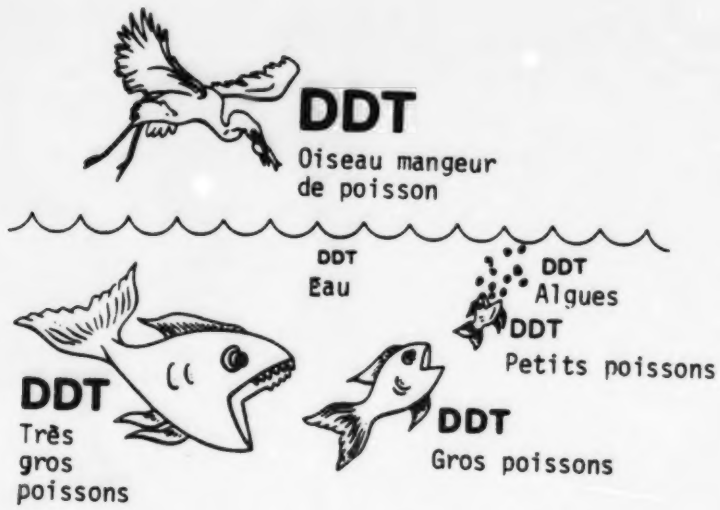


Illustration 11: Concentration du DDT dans la chaîne alimentaire. Ce sont les animaux qui se trouvent le plus loin dans la chaîne alimentaire qui ont la concentration la plus élevée d'insecticide.

On n'a cependant pas banni le DDT totalement. Dans certains cas, il peut encore être utilisé pour protéger la récolte de trois légumes de moindre importance - le poivron, l'oignon, et les pommes de terre douces gardées en entrepôts. On peut encore avoir recours au DDT quand il s'agit de protéger la santé publique. Ainsi, en cas d'épidémie de malaria, on peut vaporiser de DDT les régions infestées de moustiques. Quant à la production du DDT, elle n'a pas été interdite. On en produit encore pour l'exportation, notamment vers les pays en voie de développement, où il joue toujours un rôle très important pour lutter contre la malaria (Illustration 12).

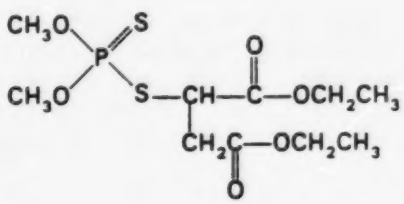
Les problèmes que l'on rencontre pour faire interdire le DDT dans le monde entier pourraient bien se résoudre d'eux-mêmes puisque de plus en plus d'espèces d'insectes se créent une résistance. Il se peut qu'on arrête de s'en servir simplement parce qu'il n'est plus efficace. Il est indispensable toutefois de trouver un autre moyen de lutter contre les insectes comme l'exemple du Sri Lanka nous l'a bien fait voir.

L'utilisation de presque tous les insecticides à base d'hydrocarbure de chlore a été bannie ou sévèrement réglementée dans les pays industrialisés. Ci-dessous, nous vous présentons quelques méthodes différentes - dont certaines ne font pas du tout appel à des substances chimiques - qui permettent de lutter contre les insectes.

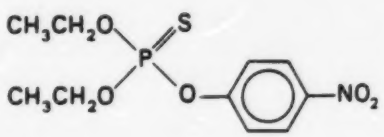
Illustration 12: On lutte contre la malaria dans les pays en voie de développement en aspergeant les murs des maisons d'insecticides. En effet, c'est là que les moustiques se posent après s'être rassasiés de sang. (Don de la U.S. Agency for International Development, Washington, D.C.)

Les insecticides organiques phosphorés

L'interdiction ou les restrictions auxquelles le DDT et les autres insecticides à base d'hydrocarbure chloré ont dû faire face ont provoqué une utilisation plus importante des insecticides organiques phosphorés. Parmi les produits de cette catégorie, on trouve le malathion et la parathion.



Malathion



Parathion

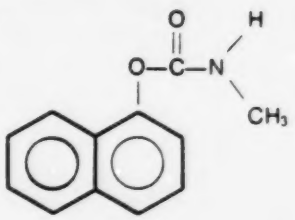
Plus de vingt-cinq de ces insecticides sont disponibles sur le marché. Ils ont fait l'objet d'études approfondies et ont été évalués en fonction de leur efficacité pour lutter contre les insectes et de leur toxicité pour l'homme et les animaux des fermes ou des laboratoires.

En général les insecticides organiques phosphorés sont beaucoup plus toxiques pour les mammifères que les hydrocarbures chlorés. Le tableau 12 montre que le parathion est plus de 20 fois plus toxique pour les rats que le DDT (plus la DL_{50} est petite, plus le produit est toxique). Des dizaines d'ouvriers agricoles ont été tués par ce poison violent. En revanche, les produits organiques phosphorés se décomposent rapidement. Au contraire de ce qui se produit avec le DDT, on trouve rarement des résidus de ces produits dans

la nourriture. Cependant certains représentants d'associations agricoles ont dit parfois qu'on avait augmenté la sécurité pour le Faucon pélerin et l'Aigle à tête blanche au détriment de celle des ouvriers agricoles. Les insecticides organiques phosphorés sont des neurotoxines.

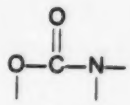
Les carbamates: insecticide ou miel...

Une autre catégorie de produit a gagné de l'importance depuis l'interdiction du DDT: c'est celle des carbamates. Parmi ceux-ci, on trouve le carbaryl (ou sevin), le carbofuran (Furadan) et l'aldicarbe (Temik). Le sevin est peu toxique pour les mammifères mais le carbofuran et l'aldicarbe ont un degré de toxicité semblable à celui du parathion. La plupart des carbamates touchent seulement une espèce d'insectes ou bien quelques-unes. Ainsi, on dit qu'ils ont une portée réduite, au contraire des hydrocarbures chlorés et des insecticides organiques phosphorés qui tuent toutes sortes d'insectes. On dit de ces derniers qu'ils ont une grande portée. Les carbamates se décomposent rapidement dans l'environnement. Malheureusement le sevin, qui est le plus utilisé, est particulièrement toxique pour les abeilles. Des millions de ces insectes utiles ont été anéantis par l'épandage de sevin sur les récoltes.

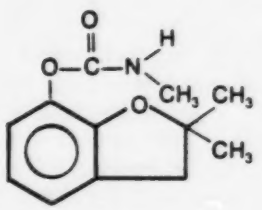


carbaryl (sevin)

La caractéristique essentielle de la molécule de carbamate appartient au groupe suivant:



Il peut y en avoir un grand nombre de variétés si l'on change le groupe qui se rattache à l'oxygène et au nitrogène. Plusieurs carbamates se vendent bien. On poursuit les recherches dans l'espoir de trouver un insecticide à base de carbamate qui soit plus efficace. L'avenir, pourtant, se trouve peut être dans l'utilisation de moyens de lutte autres que les insecticides chimiques de synthèse.



carbofuran
(Furadan)

L'appât sexuel: les phéromones

L'un des domaines les plus prometteurs de la recherche pour la lutte contre les insectes se trouve dans les phéromones. Les substances chimiques qui nous intéressent sont sécrétées par les insectes à l'extérieur de leur corps et sont utilisées pour tracer une piste, envoyer un signal de danger, ou attirer les mâles en période de reproduction. Les phéromones les plus intéressantes sont peut-être les attractifs sexuels des insectes, qui sont habituellement sécrétés par la femelle afin d'attirer les mâles. L'analyse chimique de

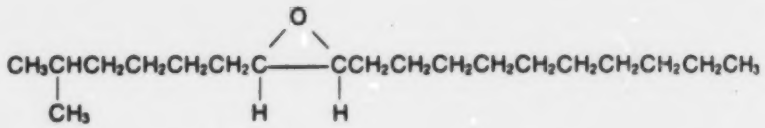
ces attractifs sexuels permet de les identifier et d'en déterminer la structure. On peut ensuite synthétiser ces substances et s'en servir afin d'attirer les mâles dans des pièges. On peut aussi utiliser ces attractifs en quantité suffisante pour provoquer un état de confusion chez le mâle et pour le désorienter, celui-ci se sentant attiré dans toutes les directions mais ne pouvant parvenir à trouver une seule femelle avec laquelle il pourra s'accoupler.

Certains de ces attractifs sexuels sont d'une simplicité étonnante. D'autres sont au contraire très complexes. Ainsi, l'attractif sexuel de la mouche domestique est un simple hydrocarbure non saturé.

$$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH=CHCH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$$

Quoique cette molécule contienne 23 atomes de carbone (dont le 9^{e} et le 10^{e} sont associés par un double lien), elle est assez facile à synthétiser. On en possède maintenant en quantité suffisante pour qu'elle soit soumise à des tests et que son emploi augmente.

La plupart du temps cependant, la recherche dans le domaine des attractifs sexuels n'est pas facile. Certaines phéromones peuvent avoir une structure complexe. Toutes sont secrétées en infimes quantités. Ainsi, une équipe du ministère de l'agriculture américain a dû utiliser les sécrétions de 87 000 *Bombix spongieuses* pour obtenir simplement une toute petite quantité de ce puissant attractif sexuel. La structure de cette substance a pu être trouvée grâce à l'emploi de toutes sortes d'instruments sophistiqués. Cette structure est la suivante:



Cette substance a d'abord été isolée en 1967, mais ce n'est que 3 ans plus tard qu'on a pu la synthétiser en laboratoire. Des essais sur le terrain ont montré que l'attractif synthétique était efficace dans des concentrations aussi faibles qu'un seul picogramme (1×10^{-12} g) par piège. (Les autres phéromones aussi sont efficaces dans des concentrations extrêmement faibles. Un papillon de ver à soie mâle est par exemple capable de détecter 40 molécules par seconde. Ainsi, si une femelle sécrétait ne serait-ce que 0,01 µg, elle pourrait attirer tous les mâles à 1 km à la ronde).

Les larves de la *Bombix spongieuse* ont défolié de grandes forêts, particulièrement au nord-est des Etats-Unis, et son maintenant presque partout dans ce pays. On s'est surtout servi de ses phéromones dans des pièges dont le but était d'établir le nombre d'insectes de cette espèce.

On est parvenu à isoler et à identifier la structure des phéromones de toutes sortes d'insectes. La plupart des insectes utilisent deux ou trois substances. Certaines sont tout à fait inhabituelles. Un exemple déroutant nous est donné par le mâle de l'*Héliothis zea* (un papillon de nuit). Un aldéhyde non saturé, le Z-9-tetradecenal agit sur lui de telle façon qu'il veut s'accoupler avec la Noctuelle verdoyante (*Heliothis virescens*) (un autre

papillon de nuit). Comme leurs organes génitaux ne se correspondent pas, les deux insectes se trouvent pris l'un dans l'autre sans pouvoir se séparer et finissent pas mourir. Eh oui, tous les moyens sont bons en amour comme dans la guerre contre les insectes nuisibles!

Il y a encore bien des recherches à faire avant que les phéromones puissent jouer un rôle vraiment important dans la lutte contre les insectes. C'est une méthode qui coûte cher et dont les recherches sont ardues et prennent beaucoup de temps. Les personnes qui y travaillent doivent faire bien attention de ne pas en renverser sur leurs habits. Qui voudrait subir l'attaque, par une belle nuit d'été, d'un million de Bombix spongieuses mâles en amour?

Illustration 13: Bombix spongieuse mâle détectant l'odeur d'une femelle à l'aide de ses grandes antennes (Don du U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.)

La lutte biologique: insecte pour insecte!

Un autre domaine de recherche très prometteur nous est offert par l'utilisation des ennemis naturels des insectes nuisibles. Les mantes religieuses et les coccinelles se vendent sur le marché et servent à détruire les insectes nuisibles des jardins. La lutte biologique peut faire appel également aux bactéries et aux virus qui attaqueront la plupart du temps une seule espèce d'insecte. On a utilisé les bactéries avec succès pour lutter contre les termites des tropiques. Lorsqu'on trouvait ces insectes, on leur transmettait une bactérie qu'ils introduisaient ensuite dans leur nid, propageant la bactérie à des colonies entières.

On a également essayé d'utiliser des virus contre un certain nombre d'insectes nuisibles et ces essais ont été couronnés de succès. En 1972, on a finalement obtenu l'autorisation d'utiliser un virus pour lutter contre *Héliothis zea*, une noctuelle. Le virus est fabriqué dans une "usine" qui sera capable d'en fournir suffisamment pour traiter une portion importante de la récolte de coton des Etats-Unis. Les résultats obtenus par les virus contre les insectes jusqu'alors nous laissent à penser qu'on pourrait les utiliser aussi avec succès contre les sauterelles (Illustration 14) et bien d'autres insectes nuisibles.

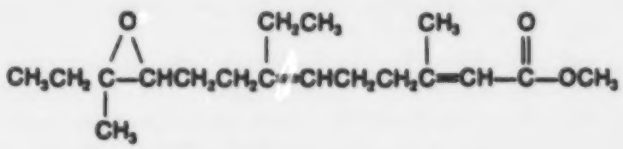
La production d'insecticides à base de virus revient cher. Néanmoins, cette méthode de lutte contre les insectes avive notre curiosité car ces produits sont très spécifiques et ne présentent pas de danger pour les autres animaux ou pour les gens et ils sont parfaitement biodégradables. Un autre aspect de la lutte biologique consiste à créer des espèces végétales résistantes aux insectes et aux champignons. C'est ainsi qu'on a pu, en créant des céréales de ce type, augmenter considérablement nos récoltes de ces dernières années.

Illustration 14: Sauterelles éliminées par un insecticide à base de virus. (Don du U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.)

Les hormones juvéniles

Une autre méthode de lutte contre les insectes utilise les hormones juvéniles. Les hormones sont des substances chimiques capables de contrôler diverses fonctions biologiques de l'animal comme des végétaux. Des quantités infimes peuvent produire de profonds changements physiologiques. Dans l'univers des insectes, c'est l'hormone juvénile qui contrôle le développement des jeunes. Normalement, la production de cette hormone s'interrompt d'elle-même au moment qui convient afin que l'insecte devienne adulte.

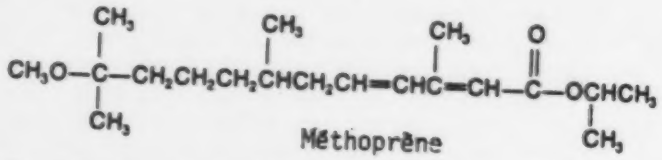
Les chimistes ont réussi à isoler l'hormone juvénile des insectes et à en identifier la structure. Connaissant cette structure, ils peuvent synthétiser l'hormone en laboratoire. L'hormone suivante a été isolée et sa structure identifiée:



Hormone juvénile de moustique

Si l'on déverse cette hormone dans les mares où les moustiques se reproduisent, les jeunes moustiques restent à l'état larvaire, si bien qu'ils restent inoffensifs. Comme seuls les insectes adultes peuvent se reproduire, cette méthode semble être de loin la meilleure pour lutter contre les moustiques.

Les chimistes ont d'autre part réussi à synthétiser des substances analogues aux hormones juvéniles. L'une de ces substances, la méthoprène, a été autorisée par la U.S. Environmental Protection Agency (bureau de protection de l'environnement des Etats-Unis) en 1975 pour lutter contre les moustiques, et en 1982 contre les puces. (Illustration 15).



Méthoprène

Synthétiser les hormones juvéniles est une opération délicate (comme vous l'avez sans doute deviné d'après leur structure complexe) et par conséquent coûteuse. Ces hormones sont efficaces surtout contre les insectes qui deviennent nuisibles à l'âge adulte. On ne gagnerait rien par contre à maintenir un papillon de jour ou de nuit à l'état de chenille; les chenilles ont un appétit vorace et causent de gros dommages aux récoltes et ces dommages ne pourraient être compensés par le fait que ces insectes ne pourraient se reproduire.

Illustration 15: L'utilisation d'hormones juvéniles comme le méthoprène dans des insecticides permet d'empêcher le moustique de devenir adulte. (a) larves de moustiques (b) larves de moustiques ne pouvant sortir de cet état (c) moustiques adultes (don de la Chemical Manufacturers Association, Washington, D.D. Reproduit de "ChemEcology", mai 1975).

La stérilisation

La stérilisation offre un moyen de lutte efficace contre certains insectes. On peut stériliser un grand nombre de mâles à l'aide de radiations, de produits chimiques ou par croisements. Puis on peut relâcher assez de mâles stériles pour qu'ils dépassent en nombre ceux qui ne le sont pas. Si une femelle s'accouple avec un mâle stérile, il n'en résultera rien.

C'est grâce à la stérilisation faite à partir de radiations que l'on est parvenu à éliminer, ou presque, la Mouche *Ochliomyia hominivorax* qui fut à une époque un insecte particulièrement nuisible aux troupeaux du sud des Etats-Unis. On a également réussi à se débarrasser de la Drosophyle des tropiques à l'aide de cette méthode dans certaines régions. (Il est d'ailleurs probable que les problèmes posés en 1981 par la Drosophyle méditerranéenne en Californie aient été provoqués, du moins en partie, par la libération accidentelle de mâles pas totalement stérilisés. Un épandage important de malathion et la cueillette des fruits a permis, semble-t-il, de résoudre le problème.) La stérilisation nécessite que l'on élève un grand nombre d'insectes, que l'on sépare les mâles des femelles, qu'on stérilise les mâles puis qu'on les lâche dans la nature. Le coût élevé de cette technique et le fait que son application est nécessairement limitée laisse à penser qu'elle ne deviendra jamais la principale méthode de lutte contre les insectes. Ainsi, la recherche continue et l'on espère trouver des moyens de lutte contre les insectes qui soient efficaces, capables de nous protéger des maladies et d'empêcher que nos cultures ne soient endommagées.

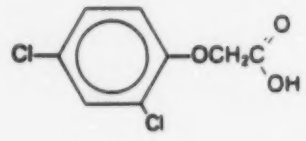
LA GUERRE CONTRE LES MAUVAISES HERBES

Les herbicides et les défoliants

Les États-Unis produisent 665 million de kg de poisons chaque année. Parmi ceux-ci, on compte 365 millions de kg d'herbicides (produits chimiques utilisés pour détruire les mauvaises herbes).

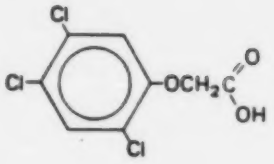
Le 2,4-D et le 2,4,5-T

Les récoltes sont plus abondantes lorsque les cultures ne doivent pas partager les éléments nutritifs du sol avec les mauvaises herbes. Arracher les mauvaises herbes à la main est un travail fastidieux et pénible. Cela fait déjà bien des années que l'on fait appel aux herbicides pour ce débarrasser des plantes qui nous ennuient. On s'est servi de produits en solutions tels que sels de cuivre, acide sulfurique (H_2SO_4), chlorate de sodium ($NaClO_3$) mais ce n'est qu'à partir de 1945, date à laquelle on a introduit le 2,4-D, que l'utilisation d'herbicides s'est étendue. Chimiquement parlant, le 2,4-D est de l'acide dichlorophénoxyacétique, ou l'un de ses dérivés. Ces produits contrôlent le développement des plantes et sont donc particulièrement efficaces contre les nouvelles pousses qui deviennent rapidement de grandes plantes à larges feuilles.



2,4-D ou acide dichloro-2,4 phénoxyacétique (2,4-D)

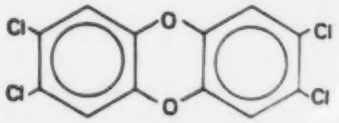
Un produit de la même famille que le 2,4-D, le 2,4,5-T, est particulièrement efficace contre les plantes ligneuses; il fait tomber les feuilles de ces plantes (défoliation). Ces deux produits, qui ont été combinés pour créer l'agent orange, ont été largement utilisés au Vietnam pour empêcher l'ennemi de se cacher et pour détruire les récoltes qui devaient nourrir les armées ennemies. Non seulement le 2,4-D et le 2,4,5-T ont provoqué de gros dommages du point de vue de l'écologie, ils ont été de plus soupçonnés d'être la cause de certaines malformations congénitales constatées chez les enfants vietnamiens et les enfants nés plus tard de soldats américains qui avaient été exposés à ces herbicides. Des études effectuées en laboratoire ont montré que ces substances, lorsqu'elles sont pures, ne provoquent aucune anormalité sur les foetus des cobayes. Cependant, de nombreuses malformations congénitales peuvent avoir pour origine des contaminants appelés "dioxines" que l'on trouvait souvent, à une certaine époque, dans les herbicides.



2,4,5-T ou acide trichloro-2,4,5 phénoxyacétique (2,4,5-T)

Le cyanamide calcique

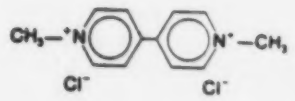
Les défoliants chimiques sont utilisés depuis des années, généralement dans le but de faciliter la récolte de certaines cultures. Le cyanamide calcique (CaNCN), l'un des premiers défoliants utilisés dans ce but, fait tomber les feuilles des plantes de coton quand les boules sont mûres. Grâce à ce procédé, on peut utiliser des machines à récolter les boules de coton. Si les feuilles restaient sur les plantes, elles seraient écrasées par la machine et tacheraient le coton.



Dioxine ou Tétrachloro-2,3,7,8 dibenzo-paradioxine

Le paraquat

Parmi les autres types d'herbicides, on trouve les traitements de prélevée tels que le paraquat. Cette substance composée d'ions est toxique pour la plupart des plantes mais elle se désintègre rapidement dans le sol. On peut donc se servir de paraquat pour détruire les mauvaises herbes avant que les pousses issues des graines semées ne soient sorties de terre. On s'est servi de paraquat aux Etats-Unis et en Amérique latine pour détruire des récoltes de marijuana. Une partie des champs traités ont quand même été moissonnés si bien que de la marijuana contaminée a fait son apparition dans les villes américaines. On craint que l'inhalation de paraquat conjointement avec de la fumée de marijuana ne soit très nocive pour les poumons.



Paraquat

L'utilisation d'herbicides

Il ne fait aucun doute que l'utilisation d'herbicides a permis d'augmenter la valeur des récoltes agricoles de milliards de dollars. Le bord des routes, les terrains vagues et les terrains industriels ont pu également être débarrassés de leurs mauvaises herbes grâce à ce procédé. Les gens qui souffrent d'allergies provoquées par le pollen émanant d'herbes à poux (ambrosies) ou d'autres herbes énéneuses ont pu être soulagés tandis que l'herbe à la puce et les autres herbes toxiques sont devenues plus rares.

À l'exception de quelques problèmes dus à la contamination de dioxyde par le 2,4,5-T, les herbicides sont en général plus sûrs que les insecticides. Des contrôles minutieux au moment de la fabrication du 2,4,5-T devraient réduire les problèmes posés par les dioxines à l'avenir. Toutefois, nous ne savons toujours pas quels seront les effets à long terme de ces herbicides sur l'environnement.

LA RÉVOLTE CONTRE LES PRODUITS CHIMIQUES: LA CULTURE BIOLOGIQUE

Les problèmes posés par tous ces poisons ont provoqué une légère recrudescence de la culture biologique. Bien des gens pensent que l'on pourrait obtenir des aliments plus nutritifs tout en évitant de créer des problèmes à l'environnement si l'on interdisait les poisons et les engrais chimiques et si on laissait les récoltes pousser de façon naturelle.

Ce mouvement est admirable par bien des aspects. Il semble en effet évident que nous devrions utiliser les déchets des humains et des animaux pour nourrir le sol plutôt que pour polluer notre eau ou notre air. La culture biologique demande en outre moins d'énergie. Selon une étude du Center for the Biology of Natural Systems (Centre de biologie des méthodes naturelles) de l'université de Washington, les fermes conventionnelles de taille comparable utilisent 2,3 fois plus d'énergie que les fermes biologiques. La production obtenue dans les fermes biologiques est de 10 % inférieure, mais ses coûts d'exploitation sont inférieurs aussi et dans un pourcentage assez semblable. Les fermes biologiques demandent 12 % de plus de travail que les autres, mais le travail humain est une ressource qui se renouvelle, tandis que l'énergie obtenue à partir du pétrole ne se renouvelle pas.

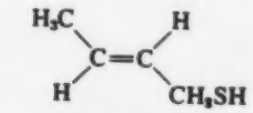
Certainement, nous devrions nous tourner vers la culture biologique chaque fois qu'on peut le faire. Cependant, il ne faut pas se leurrer. Malgré ce qu'on entend, les aliments biologiques ne sont pas plus nutritifs que ceux qui ont été cultivés par des méthodes modernes. Lorsqu'on procède à l'analyse chimique des aliments biologiques et de ceux poussés à l'aide d'engrais chimiques, on ne peut trouver aucune différence entre les deux. De toutes façons, il faut que les engrais organiques se soient désintégrés en substances chimiques inorganiques pour que les plantes puissent en bénéficier.

LA LUTTE CONTRE LES INSECTES

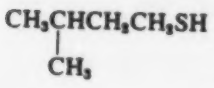
LA LUTTE CONTRE LES INSECTES*

LA DÉFENSE CHIMIQUE CHEZ LES ANIMAUX

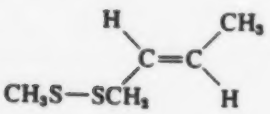
On a étudié les procédés de défense chimique des animaux en ayant recours à de nombreuses espèces d'insectes et à quelques autres animaux. Le plus connu est celui de la Moufette en colère. Elle sécrète un produit qui se compose des trois éléments suivants dans une proportions de 4:3:3.



trans-2-butène-1-thiol



3-méthyl-1-butanethiol



disulfure de méthyl-1-trans-2-butényle

Illustration 16: Produits anti-moustiques
(Photographie de James J. Kane, Jr.)

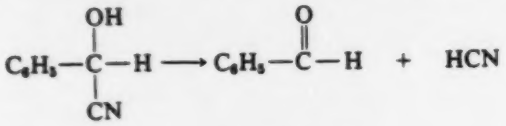
Chez les insectes, le système phéromonal est plus subtil mais tout aussi efficace pour prévenir une attaque ou se défendre contre certains de leurs prédateurs éventuels. Certaines espèces d'insectes sont bien connues pour leur

---

* Extrait tiré de W.R. Stine. Applied Chemistry, 2e édition. Boston: Allyn and Bacon, 1981.

capacité à asperger leurs attaquants de près ou de loin, ou bien à produire des sécrétions de surface. On a pu identifier également des phéromones de danger et le venin transmis par la piqûre de l'abeille.

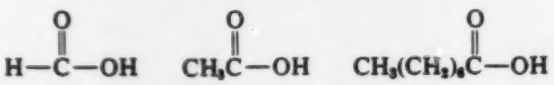
Certaines espèces de Mille-pattes ont en elles un élément que l'on connaît sous le nom de mandélonitrile et qui semble être, si l'on en croit la réaction indiquée ci-dessous, une source de cyanure d'hydrogène.



mandélonitrile benzaldéhyde cyanure d'hydrogène

Quand un Mille-pattes se voit attaqué par un prédateur, il déclenche cette réaction et projette sa substance répulsive et toxique. D'autres Mille-pattes se couvrent d'un mélange de substances chimiques lorsqu'ils sont irrités. Les éléments essentiels qui entrent dans la composition de cette substance répulsive sont connus sous le nom de *quinones*.

Le Scorpion *Damon metius johnstoni* qui ne mesure que quelques centimètres, est capable de projeter ses sécrétions à plusieurs fois sa taille de distance. Son prédateur reçoit alors un mélange unique composé d'acide acétique, d'acide caprylique et d'eau. C'est l'acide acétique qui joue le rôle d'irritant mais son efficacité se trouve renforcée par la présence de l'acide caprylique qui, soluble dans les graisses, permet à l'acide acétique de pénétrer au-delà de la substance cireuse qui recouvre la majorité des animaux susceptibles de le recevoir. En effet, l'acide acétique seul ne ferait pour ainsi dire rien à certains ennemis du Scorpion.



acide formique acide acétique acide caprylique

Certaines fourmis se défendent en projetant de l'acide formique jusqu'à 20 centimètres de distance. D'autres fourmis utilisent de l'acide acétique ou d'autres acides, et même des substances chimiques plus complexes.

Illustration 17: Sauterelle sécrétant sa mousse défensive. (Don d'Edward S. Ross)

Le Monarque sécrète une substance chimique défensive très efficace: il acquiert cette substance alors qu'à l'état de larve, il se nourrit de laiteron. Les oiseaux, qui sont ses prédateurs, vomissent violemment s'ils le mangent: ils apprennent donc vite à ne pas refaire la même erreur. Le Monarque est un papillon très coloré, ce qui permet à ses prédateurs éventuels de le reconnaître facilement et de l'éviter.* Cependant si ces papillons sont élevés à manger du chou, leurs prédateurs peuvent s'en nourrir sans problèmes. En fait, si leurs prédateurs sont conditionnés à manger des Monarques nourris au chou, ils s'attaquent aussi bien aux autres Monarques et doivent alors en subir les conséquences.

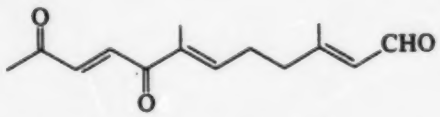
Illustration 18: Monarques. (Don d'Edward S. Ross)

---

* Apparemment, il arrive que ces prédateurs éventuels, lorsqu'ils sont conditionnés, confondent d'autres papillons très colorés avec les Monarques et les évitent également par crainte de revivre une expérience désagréable.

Le Bombardier sécrète une substance à base de quinone lorsqu'il est attaqué. Sur l'illustration 19 (a), on peut voir un crapaud prêt à déguster un bon scarabée. Malheureusement pour le pauvre crapaud, au moment où il s'abat sur sa proie (b) celle-ci projette ses sécrétions défensives, si bien que le crapaud doit s'empresser de la laisser partir (c). On peut également voir un Bombardier en train de projeter ses sécrétions chimiques défensives sur l'illustration 20.

Les Gyrins, ou Tourniquets, quant à eux, se protègent des poissons en sécrétant un liquide laiteux et nauséabond nommé substance gyrinidale.



substance gyrinidale

Il arrive que certains insectes emploient leurs sécrétions chimiques à des fins agressives. Les abeilles Pillardes, par exemple, s'en servent pour désorganiser les soldats d'une ruche, ce qui leur permet de voler la nourriture qui s'y trouve. On a pu observer aussi des espèces de fourmis qui utilisaient leurs sécrétions chimiques en guide d'armes offensives. Les Fourmis esclavagistes, en effet, attaquent des fourmilières en projetant certaines substances chimiques sur les soldats qui se défendent, et capturent les nymphes d'ouvrières. Quand celles-ci deviennent adultes, elles acceptent la tyrannie de leurs maîtres et travaillent pour la colonie étrangère.

DUPLICATION DES PHÉROMONES CHEZ DIVERS INSECTES

L'utilisation de phéromones peut avoir quelque chose de déroutant quand on découvre que plusieurs insectes d'espèces différentes peuvent utiliser une phéromone semblable à des fins similaires. Il y a des cas où ceci paraît normal, mais, lorsqu'il s'agit de phéromones sexuelles, ça ne l'est pas du tout car il pourrait en résulter un état de confusion tel que de graves conséquences seraient à prévoir. La duplication des phéromones sexuelles ne pose pas de problèmes si les deux espèces d'insectes ont leurs cycles sexuels à des heures ou des saisons différentes car la reproduction aura lieu alors à des moments différents du jour ou de l'année.

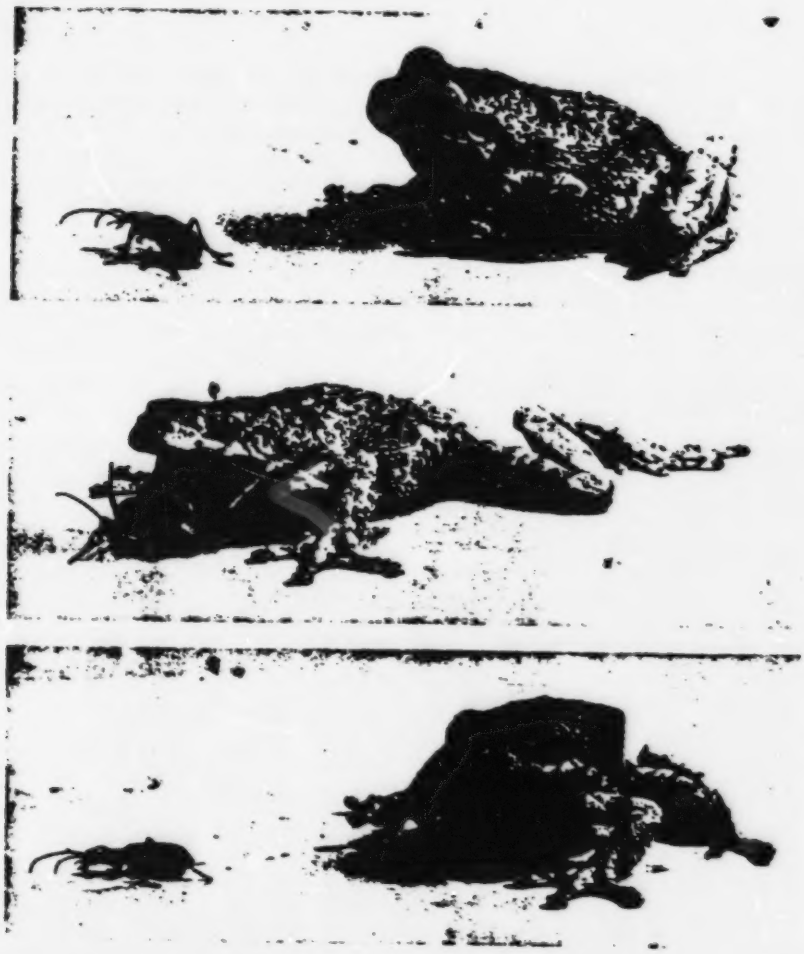


Illustration 19: Crapaud rejeté par un Bombardier. Le crapaud (a) aperçoit le scarabée (b), l'attaque avec sa langue gluante, puis (c) le rejette. (Don de Thomas Eisner)

Quand les insectes vivent dans une région géographique différente, cet état de confusion peut là encore être évité. La distinction pourrait aussi provenir d'une quelconque différence chez les plantes qui attirent les diverses espèces d'insectes. Enfin, une incompatibilité morphologique qui empêcherait la copulation pourrait empêcher avec certitude qu'un tel état de confusion ne se produise. Quant à l'incompatibilité génétique, il s'agit d'un processus chimique qui permet d'éviter la confusion.

La Fausse-arpenteuse du chou (illustration 21) et l'Autographe de la luzerne utilisent, pour attirer le mâle, une même substance, un attractif sexuel appelé *looplure*; cependant, ces deux insectes semblent avoir en commun un moyen subtil de se distinguer. Le montant de phéromone sécrétée par la femelle et la sensibilité du mâle de son espèce semblent particulièrement bien accordés. On a pu constater que le mâle de la Fausse-arpenteuse du chou est moins sensible, c'est-à-dire qu'il a besoin de plus de phéromones pour être attiré, que le mâle de l'Autographe de la luzerne. Cette observation explique bien pourquoi le mâle de la Fausse-arpenteuse du chou est peu attiré par la femelle de l'Autographe de la luzerne (qui sécrète très peu de phéromones

sexuelles). Toutefois, ça n'explique pas pourquoi le mâle de l'Autographe de la luzerne n'est pas également attiré par la Fausse-arpenteuse du chou femelle (puisque celle-ci sécrète plus de phéromones que ce dont il a besoin pour être attiré). En fait, on a pu constater que les deux espèces ne se rejettent pas complètement; elles ont cependant une nette préférence pour les individus de leur espèce respective. En outre, cette nette préférence permet de conclure que le système de détection des phéromones de l'Autographe de la luzerne mâle doit probablement se trouver saturé par la forte concentration des phéromones sécrétées par la Fausse-arpenteuse du chou et cela, même lorsque le mâle se trouve loin de la femelle. Dans une situation semblable, le mâle qui se rapprocherait de la femelle sentirait encore davantage l'effet des phéromones; or, si son système de détection était déjà saturé, le mâle se trouverait dans l'impossibilité de constater qu'il s'en rapproche effectivement.

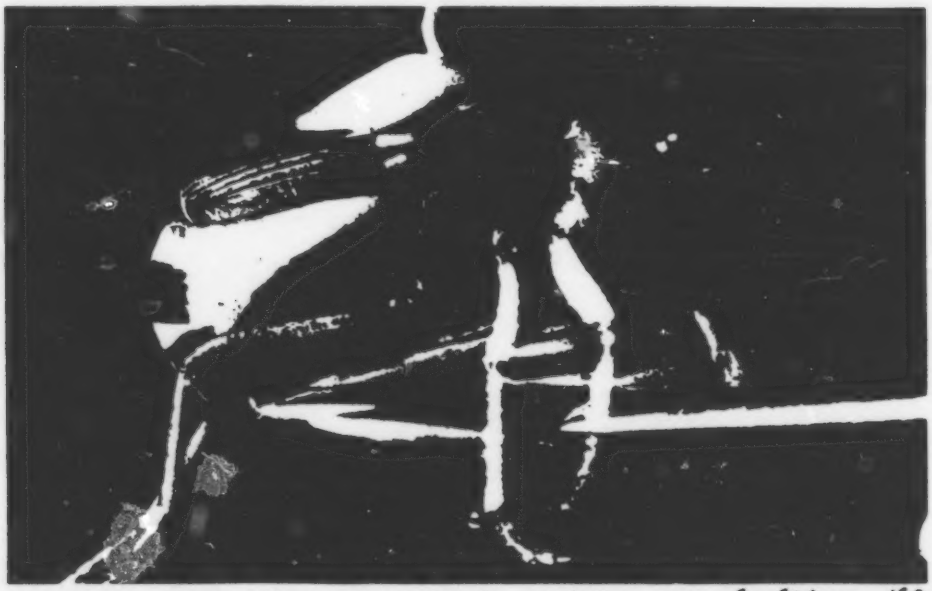
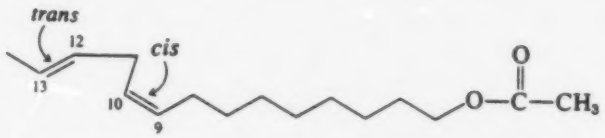


Illustration 20: Bombardier en train de projeter ses sécrétions défensives, réaction provoquée par l'immobilisation de la patte avant à l'aide d'une pince. Pour prendre cette photographie, le scarabée a été attaché à un crochet à l'aide de cire. (Don de Thomas Eisner et Daniel Aneshansky).

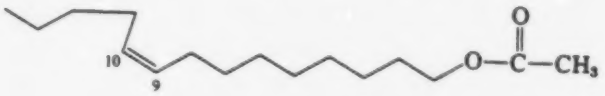
Illustration 21: Fausse-arpenteuse du chou. (Don d'Edward S. Ross)

La Pyrale indienne de la farine et la Pyrale des amandes, qui utilisent elles aussi les mêmes phéromones sexuelles, ont un autre moyen très subtil de distinguer les femelles de leurs espèces respectives.

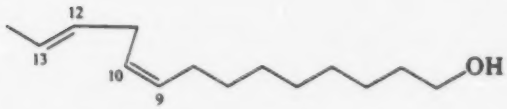


acétate de cis-9-trans-12-tétradécadien-1-ol

La Pyrale des amandes femelle sécrète en plus de ses phéromones une substance composée de acétate de cis-9-tétradecen-1-ol qui stimule les mâles de son espèce et inhibe ceux de la Pyrale indienne de la farine. Quant à la femelle de la Pyrale des amandes, elle produit du cis-9-trans-12-tétradécadien-1-ol qui inhibe les Pyrales des amandes mâles. Ainsi, il y a à la fois un effet synergiste et un effet dissimulateur, ce qui permet d'éviter la confusion.



acétate de cis-9-tétradecen-1-ol



cis-9-trans-12-tétradécadien-1-ol

MÉCANISMES DE DÉFENSE CHIMIQUE CHEZ LES PLANTES

C'est par un équilibre subtil que la nature détermine également l'interaction qui se produit entre un grand nombre de plantes et les insectes ou autres animaux qui s'en nourrissent. Ainsi la pyréthrine est un insecticide naturel présent dans les chrysanthèmes. Certains cultivateurs en faveur de la culture biologique considèrent même qu'il s'agit d'un bon insecticide du fait qu'il est naturel. La pyréthrine est une toxine puissante contre bien des insectes, même si d'autres y sont indifférents. Ceux-ci possèdent en effet certaines enzymes de détoxication qui leur permettent de transformer cette toxine végétale, et peut-être d'autres également, dans leur métabolisme. La situation est analogue lorsque l'on rencontre une résistance au DDT due aux enzymes créées par le DDT mais celle-ci peut parfois être surmontée par la plante elle-même qui produit alors un synergiste naturel (53). La sésamine est un synergiste connu produit par la pyréthrine du chrysanthème.

Certains insectes possèdent, à l'état larvaire, des enzymes de détoxication qui leur permettent de vaincre les défenses naturelles des plantes; ils peuvent donc se nourrir de ces plantes sans y prendre garde. Ceci explique pourquoi certains insectes ont une préférence naturelle pour certaines plantes.

La cataire est une substance déroutante que certaines plantes de la famille de la menthe peuvent produire. L'effet qu'elle a sur les chats est intéressant; mais son but est d'abord d'éloigner les insectes.

On s'est demandé si les plantes utilisaient l'attaque psychochimique comme moyen de défense. Par exemple "est-ce qu'un insecte qui s'est nourri d'un champignon particulier qui contient du LSD peut prendre une araignée pour compagne, et est-ce qu'un zèbre qui a mangé une plante riche en alcaloides perd la tête au point de ne plus craindre les lions?"

NOUVELLES MÉTHODES DE LUTTE CONTRE LES INSECTES

Un expert en entomologie (la branche de la zoologie qui étudie les insectes) ne serait pas d'accord avec le titre de cette partie puisque plusieurs de ces méthodes ne sont pas nouvelles. Peut-être aurions-nous dû l'appeler, pour être plus précis: "lutte contre les insectes après les insecticides," car la plupart de ces méthodes ont été rangées dans des tiroirs quand le DDT a été découvert dans les années 40, ce produit étant plus facile à utiliser et moins cher.

La liste des méthodes indiquées ci-dessous est assez complète et montre la grande variété des procédés disponibles.

- les pesticides
- les phéromones
- la stérilisation des mâles
- les antiappétants
- les hormones
- le contrôle biologique:
    a) par les prédateurs
    b) par les parasites
    c) par les pathogènes

Les pesticides

Il ne fait aucun doute que l'on continuera à utiliser des pesticides pour lutter contre les insectes. Parmi les méthodes disponibles, il y en a qui s'avèrent relativement inefficaces pour lutter contre une invasion importante d'insectes. Il peut donc être utile, dans certains cas, d'organiser la lutte en deux étapes: au cours de la première étape, on utilise des insecticides pour tuer un maximum d'insectes; puis la deuxième étape, fondée sur les principes de l'écologie, vise à s'assurer que le nombre des insectes restants n'augmente pas.

En outre l'utilisation massive d'insecticides est mieux contrôlée que par le passé. On se sert de préférence d'insecticides biodégradables afin de minimiser la pollution. Les insecticides à émission contrôlée ou produits sous forme de capsules devraient permettre un niveau d'utilisation plus bas et moins fréquent.

Les phéromones

La façon la plus intéressante d'aborder la lutte contre les insectes est peut-être celle qui consiste à faire appel à leurs phéromones. Maintenant nous

savons que celles-ci sont aussi des substances chimiques dont l'emploi pourrait porter atteinte à l'environnement; cependant, les problèmes qu'elles posent sont minimes en comparaison des avantages qu'elles offrent. Leur plus grand avantage est leur faible toxicité. Le vide biologique qui découle de l'emploi des pesticides n'existe pour ainsi dire pas quand on emploie des phéromones pour lutter contre les insectes. Leur toxicité réduite ainsi que l'emploi de quantités normalement très petites, ne provoquent qu'une très faible perturbation de l'environnement. On peut employer des quantités aussi réduites parce que les insectes ont une sensibilité absolument incroyable à certaines de ces phéromones. De plus, les phéromones sont toutes biodégradables, comme le sont la plupart des substances naturelles.

Les diverses manières d'utiliser les phéromones se recoupent sur un point: elles essaient toutes de tirer parti des mécanismes de communication naturels dont certains sont essentiels à la survie et à la propagation d'une espèce particulière; les méthodes consistent soit à empêcher le déclenchement de ce mécanisme soit à l'utiliser de telle façon qu'il va à l'encontre de l'intérêt de l'insecte.

Les phéromones attractifs, comme les attractifs sexuels, (looplure, randlure et disparlure), sont capables d'attirer les insectes dont on veut se débarrasser dans des pièges. Ces pièges peuvent contenir des insecticides installés de telle façon qu'ils n'auront aucun effet sur l'environnement. On peut aussi enduire le piège d'une substance collante dont l'insecte serait incapable de se dégager une fois qu'il serait entré. Enfin, on pourrait y mettre un stérilisant chimique, ce qui permettrait de relâcher l'insecte plus tard et de le laisser s'accoupler, mais sans procréer.

Il semble peu probable que les insectes produisent une substance capable de résister aux phéromones. En effet, si un insecte devait créer dans son métabolisme une résistance à son propre attractif sexuel, il en résulterait une entrave extraordinaire à la propagation de l'espèce. Autrement dit, cette résistance biologique aux attractifs sexuels aurait un effet négatif sur l'espèce. On peut se demander si une telle résistance pourrait effectivement être provoquée. Il serait sans doute possible de transmettre cette caractéristique à un petit groupe d'insectes gardés en laboratoire et en contact si étroit les uns avec les autres qu'un attractif serait de toute façon inutile. Mais une fois que cette espèce serait relâchée, elle s'éteindrait forcément d'elle-même.

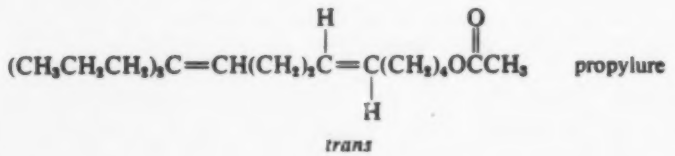
Dans l'environnement normal des insectes, il n'est pas toujours possible de contrôler une invasion massive à l'aide de pièges contenant des phéromones. En effet, quant leur densité est élevée, les insectes font davantage appel à leur vue pour se reproduire. C'est pour cela qu'il faut parfois utiliser des insecticides avant d'avoir recours à d'autres techniques. Cependant, même quand on ne peut pas utiliser les phéromones directement pour lutter contre les insectes, on peut s'en servir dans des buts de détection, et même de prédiction, des zones susceptibles d'être infestées qui, une fois localisées, seront traitées, parfois par d'autres moyens que les phéromones.

Il existe deux façons principales d'utiliser les phéromones: l'une consiste à provoquer la confusion chez l'insecte et l'autre à dissimuler l'élément attractif des phéromones. La première méthode a été décrite dans une étude au cours de laquelle des petits morceaux de papier imbibés d'attractifs sexuels

ont été répandus par avion sur une vaste étendue dans une concentration de 2000 papiers par hectare; on a utilisé pour cette expérience 8 mg d'attractifs par hectare. Les pièges, contenant soit des Bombix spongieuses non fécondées soit des attractifs, n'ont réussi à attirer qu'un très petit nombre de mâles en comparaison de ceux attrapés dans les zones de contrôle non traitées. Il semble que les bombix mâles se soient trouvés dans un état de confusion tel - du fait des trop nombreuses sources d'attractifs sexuels - qu'ils n'ont pu parvenir à localiser ni les femelles ni les pièges préparés pour cette étude.

La deuxième façon de tirer parti des phéromones pour lutter contre la prolifération des insectes consiste à utiliser un procédé de dissimulation. Il s'agit alors de faire appel à une autre substance que les phéromones de l'insecte qui soit capable de contrecarrer l'effet attractif des phéromones sexuelles. Ceci reproduit le phénomène naturel observé chez la Pyrale indienne de la farine et la Pyrale des amandes dont les attractifs sexuels sont les mêmes mais qui peuvent se distinguer en sécrétant une substance capable de rendre les phéromones de l'autre espèce inefficaces.

La *Pectinophora gossypiella* offre un autre exemple de ce qu'on peut faire grâce à ce procédé. Le mâle de cette espèce réagit à une substance connue sous le nom de propylure, qui est l'isomère trans de la formule suivante:



On a pu observer que l'isomère cis annule l'effet attractif de l'isomère trans, ce qui pourrait alors fournir le moyen d'annuler l'effet de l'attractif normal (27,71).

La stérilisation

On a dit de la stérilisation qu'il s'agissait d'une lutte autocide. Elle consiste à prendre les mâles au piège puis à les stériliser à l'aide de produits chimiques ou de rayons ionisants. Dans le cas qui nous intéresse, ce sont des rayons gamma obtenus à l'aide de cobalt 60 qui ont été utilisés. Stériliser des femelles reviendrait au même que de les tuer, mais la stérilisation des mâles qui peuvent s'accoupler plusieurs fois peut prévenir la fécondation des femelles puisque celles-ci ne s'accouplent qu'une seule fois.

La stérilisation des mâles a bien servi dans le sud-ouest des États-Unis à la prévention d'une infestation de la Drosophyle mexicaine. On a également employé cette méthode pour lutter contre la Mouche *Cochliomya hominivorax* au Texas et en Californie, particulièrement le long de la frontière mexicaine.

Le principal inconvénient de cette méthode, c'est qu'elle présente des difficultés du fait qu'il faut élever une grande quantité de mâles stériles. En effet, comme ils ne peuvent évidemment pas se reproduire, il faut d'abors les élever puis les stériliser. En outre, la faible sélectivité des rayons ionisants et même des produits chimiques servant à la stérilisation pose un

autre problème. Il peut se faire que ces procédés de stérilisation rendent le mâle tout à fait inapte à l'accouplement ou bien incapable de lutter contre les autres mâles, si bien qu'ils ne jouent plus qu'un role mineur dans la lutte contre la prolifération des insectes.

Les antiappétants

Certains mélanges chimiques ont permis d'empêcher les insectes de se nourrir des plantes qu'ils mangent d'habitude. Il peut se faire lors que l'insecte meure de faim en face d'une quantité importante de nourriture. Certains de ces mélanges peuvent être source de pollution, à moins qu'ils ne soient biodégradables; cependant, si l'on considère qu'ils ne tuent même pas l'insecte, du moins directement, il est peu probable qu'ils présentent un danger pour ses prédateurs ou ses parasites. Le but de ces produits est de rendre les plantes désagréables au goût pour l'insecte, ce qui pourrait l'encourager à se rabattre sur les mauvaises herbes pour se nourrir: ils présenteraient alors un double avantage pour les plantes que l'on veut protéger.

Les hormones

Il est possible, en plus d'influer sur le comportement des insectes par des moyens externes, de perturber le développement normal de certains insectes à l'aide de substances normalement présentes en eux. Une de ces substances, l'hormone juvenille (HJ), ainsi que d'autres substances qui l'imitent ou imitent d'autres hormones particulières aux insectes, semblent détenir la palme pour la lutte contre certaines espèces. L'hormone juvénile contrôle les différentes étapes du développement de l'insecte tandis qu'il passe de l'état larvaire à celui d'adulte. A l'état larvaire, l'insecte a besoin d'hormones juvéniles; mais pour qu'une larve se métamorphose en adulte capable de se reproduire, il faut qu'elle se passe de ces hormones. Normalement, l'insecte franchit cette étape automatiquement, mais c'est à ce moment que nous autres humains, nous pouvons intervenir. On appelle ce niveau de développement le talon d'Achille, car, tandis qu'on ne peut empêcher la production de ces hormones au moment où l'insecte en a besoin, on peut continuer à lui en fournir lorsqu'il ne les supporte plus. C'est ce qui se passe avec les hormones juvéniles. En présence d'une source externe d'hormones juvéniles, les insectes sensibles continuent à grandir sous forme de larve ou bien ils se transforment en adultes retardés qui conservent un grand nombre des caractéristiques des larves et ne peuvent se reproduire.

Le résultat final de cette technique est semblable à celui obtenu par un insecticide mais il offre un certain nombre d'avantages de grande importance. Son premier avantage, c'est la spécificité. Au contraire de la plupart des pesticides, les hormones juvéniles ne risquent pas de détruire les micro-organismes qui ont un effet bénéfique sur le sol; il pourrait arriver cependant qu'elles éliminent certains insectes utiles. Quant à la création d'un moyen de résistance aux hormones juvéniles, elles est peu probable puisque l'insecte en a besoin à certaines étapes de son développement. Finalement, comme l'hormone juvénile est une substance naturelle, elle est, comme les autres hormones, biodégradable et, en conséquence, peu polluante.

Pourtant l'emploi d'hormones juvéniles pourrait présenter un problème. Comme on l'a vu à propos de la Bombix spongieuse, les larves mangent beaucoup et causent de grands dommages aux récoltes. Ainsi, si l'on prolonge l'état

larvaire chez l'insecte, il se pourrait que cela provoque une baisse de la production de la récolte, du moins jusqu'à ce que le nombre d'insectes diminue.

La lutte biologique

La lutte biologique se fait à l'aide de prédateurs, de parasites et de substances pathogènes. Les méthodes déjà décrites avaient pour but soit d'interrompre le développement de certains insectes ou une de leurs activités biologiques, soit d'en tirer parti; elles n'appartiennent cependant pas à ce qu'on appelle la lutte biologique. Les prédateurs des insectes peuvent être des crapauds, des grenouilles, des lézards, des oiseaux, des poissons et aussi certains mammifères. Normalement le prédateur va manger un grand nombre de proies pendant sa vie. Au contraire, un parasite est un organisme petit qui s'installe sur sa proie ou dedans et dépend de sa victime pour se nourrir. Le plus souvent, son hôte meurt en une longue agonie.

La lutte à l'aide de prédateurs ou de parasites peut être efficace même si ceux-ci requièrent le maintien d'un certain nombre d'insectes: il faut en effet prévoir la survie et même la propagation de leurs ennemis. Ce qui est intéressant dans cette méthode, c'est qu'elle s'avère particulièrement efficace pour la lutte contre les invasions massives d'insectes. En effet, la faiblesse de plusieurs autres méthodes réside dans le fait qu'elles sont impuissantes lorsque les insectes sont trop nombreux.

Les micro-organismes pathogènes (qui provoquent des maladies) et les virus sont aussi des moyens efficaces de lutter contre les insectes. De même que les récoltes peuvent être dévastées par le chancre et d'autres maladies, les insectes peuvent disparaître totalement à cause d'une maladie. Ce type de lutte est aussi efficace pour combattre les infestations par un grand nombre d'insectes.

Autres méthodes

Il est probable qu'on découvrira d'autres méthodes ou qu'on apprendra à en combiner plusieurs à l'avenir. L'idée la plus surprenante qui ait fait son apparition récemment est peut-être l'utilisation de chiens, appelés chasseurs d'insectes, qui sont dressés à reconnaître l'odeur des Bombix spongieuses (74). Le but de cette méthode est de trouver les Bombix dans les endroits qui ne sont pas encore infestés, et ainsi de les empêcher de s'y établir.

LE MODE D'ACTION DES ANTIPARASITES

LE MODE D'ACTION DES ANTIPARASITES*

LES INSECTICIDES

Si un insecte nuisible comme une sauterelle ou une chenille mange les feuilles d'une plante, on peut traiter les feuilles à l'aide d'un produit chimique de sorte que l'insecte s'empoisonne lorsqu'il mange la plante. On utilise beaucoup les composés de l'arsenic et les hydrocarbures chlorés comme *insecticides d'ingestion.* Si l'insecte suce la sève de la plante (comme c'est le cas des pucerons ou des moustiques) les insecticides d'ingestion appliqués à la surface de la plante n'agiront pas. Il faut alors que l'insecticide pénètre dans la sève pour être efficace. Dans ce cas, on parle d'*insecticides systémiques.* Ces insecticides sont facilement absorbés par les stomates des feuilles ou les racines des plantes. Les insecticides systémiques sont aussi efficaces contre les insectes qui mangent les feuilles et ils ont en plus l'avantage de ne pas disparaître sous l'effet de la pluie. Il en existe aussi que l'on peut donner à manger au bétail ou injecter dans leur sang et qui tuent les vers du bétail sans endommager la qualité de la viande ou du cuir.

Les insecticides que l'on vaporise chez soi ou à sa maison de campagne pour tuer les mouches et le moustiques sont habituellement des *insecticides de contact.* Ces insecticides ne sont efficaces que lorsqu'ils touchent l'insecte. On peut en vaporiser directement sur les insectes ou en mettre là où passent les insectes. Le nicotine et le pyrèthre, tous deux des substances naturelles que l'on a extraites de plantes, sont des insecticides de contact courants. Les insecticides de contact peuvent être respirés par les insectes ou pénétrer à travers leur tégument. Ils sont efficaces lorsqu'ils atteignent l'insecte directement mais ne restent pas assez longtemps sur les plantes pour tuer les insectes qui arrivent plus tard.

D'autres insecticides, tels le DDT (dichlorodiphenyltrichloroéthane), le chlordane et le BHC (benzene-hexa-chloride) agissent sur les insectes de diverses façons. Ils détruisent les insectes qui les respirent, ceux qui les touchent et ceux qui les mangent et ils restent à la surface des plantes ou dans le sol pendant assez longtemps. Un grand nombre de ces insecticides agissent encore dans le sol après plusieurs années.

---

* Extrait tiré de B. Barrett et J. Stratton. From Nature to Man. Toronto: Wiley of Canada, 1976. Avec l'aimable autorisation de John Wiley Publishers of Canada Limited.

Tableau 13 - Types d'insecticides

Type	Nom chimique	Mode d'action	Caractéristiques
Substances non organiques	produits arsenicaux, composés au plomb, produits fluorés	insecticides d'ingestion	extrêmement toxique et rémanents - agissent encore dans l'écosystème après des mois et même des années.
Substances organiques	pyrèthre, nicotine, ryanodine	insecticides de contact - agissent sur le système nerveux	extraits de plantes (la nicotine vient du tabac), peu persistants et inoffensifs pour les oiseaux ou les animaux.
Produits de synthèse: [a]			
. composés à l'hydrocarbure chloré (contiennent C, H, Cl),	DDT, benzenehexachloride, dieldrine, endrine, aldrine, chlordane	varié, mais agissent sur le système nerveux centrale de façon inconnue	toxiques pour tous les animaux, rémanents, s'accumulent dans la chaîne alimentaire.
. insecticides organiques phosphorés (contiennent C, H, O, P, S)	parathion, malathion, diazinon	agissent sur le système nerveux	instables, ont tendance à se décomposer rapidement, ne s'accumulent pas dans la chaîne alimentaire, très toxiques pour les mammifères.

[a] Les produits de synthèse sont ceux qui sont fabriqués en laboratoire ou industriellement. Ce sont généralement de grosses molécules produites par réaction chimique.

LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES

Il n'existe pas de mauvaises herbes dans la nature; c'est l'homme qui les a créées. Toutes les plantes qui poussent là où l'homme a décidé qu'elles ne devraient pas pousser, il les appelle de mauvaises herbes. Les pissenlits qui poussent sur une pelouse sont considérés comme de mauvaises herbes par la plupart des gens qui trouvent que les pissenlits ne font pas bien au milieu d'une pelouse. D'autres personnes cultivent pourtant les pissenlits dont elles cueillent les fleurs pour en faire du vin. Dans ce cas, la mauvaise herbe de l'un est la culture de l'autre.

Malgré le manque de certitude que l'on peut avoir parfois quand on veut savoir quelle plante est mauvaise et quelle plante est bonne, on peut dire que les plantes que l'on considère habituellement comme de mauvaises herbes ont plusieurs caractéristiques qui leur sont communes. Elles sont généralement très résistantes, tant aux insectes qu'aux maladies ou à la sécheresse; elles poussent très vite, comparées aux autres plantes; et elles se reproduisent très rapidement, devenant vite très nombreuses. Dans un champ, elles parviennent souvent à dépasser les plantes cultivées et réduisent considérablement la production de ces plantes au moment de la récolte. Elles font de l'ombre et se nourrissent des nutriments et de l'eau qui serviraient autrement aux plantes cultivées.

Les mauvaises herbes sont dans l'ensemble plus faciles à localiser et à contrôler que les insectes parce qu'elles sont plus grandes et qu'elles ne bougent pas. On peut les arracher à la main ou à l'aide d'un outil à main. C'est la méthode que la plupart des particuliers qui jardinent utilisent, de même que les petits exploitants. Mais un fermier qui possède plusieurs hectares de terres à désherber aura sans doute planté ses champs de telle façon qu'il lui sera possible de passer entre les sillons avec un sarcloir mécanique. Il faut parfois désherber plusieurs fois les champs où poussent les cultures et cela peut en augmenter énormément le prix de revient.

Ces dernières années, les exploitants agricoles ont trouvé que, dans certains cas, il revenait moins cher d'utiliser des *désherbants chimiques* et qu'ils étaient plus efficaces pour détruire les mauvaises herbes. Les herbicides à l'acide chlorophenoxy, dont le 2,4-D, le 2,4,5-T et le picloram, sont des hydrocarbures chlorés. Ils sont très proches, du point de vue de leur structure chimique, d'une hormone végétale naturelle qui détermine la vitesse de croissance des plantes.

Quand on asperge les mauvaises herbes de cet herbicide, leurs feuilles et leurs racines l'absorbent et le conduisent partout dans la plante. Sous l'effet de cet herbicide, la plante grandit si vite qu'elle finit bientôt par mourir. Une autre sorte d'herbicide détruit les mauvaises herbes en empêchant que la photosynthèse ne se produise: la plante ne peut plus transformer l'énergie solaire en énergie chimique et meurt alors littéralement de faim. Les herbicides connus sous le nom de simazine, fenuron, diuron et monuron, agissent de cette façon. Comme ces deux types d'herbicides n'interviennent que sur le développement des plantes et non sur les animaux, ils ne sont pas toxiques pour ceux-ci, du moins pas directement.

Les herbicides sont peu efficaces pour lutter contre les mauvaises herbes dans les champs où l'on cultive des plantes à larges feuilles, comme par exemple les haricots. Si l'on vaporisait l'ensemble du champ, on détruirait la culture en même temps que les mauvaises herbes. Il faut faire très attention de ne toucher que les mauvaises herbes avec le produit, et même dans ce cas, il y a toujours le risque qu'une quantité assez importante de produit s'écoule sur une partie des plantes cultivées et les tuent. Les herbicides de type 2,4-D sont surtout efficaces lorsque la plante que l'on cultive est une herbe, comme le blé par exemple. Le peu de surface des brins empêche que la plante n'absorbe assez d'herbicide pour que celui-ci la détruise. Bien sûr, il faut que la mauvaise herbe soit une plante à large feuilles; sinon, elle aussi survivrait à un traitement normal de 2,4-D. Les adeptes du jardinage se servent de 2,4-D pour détruire les pissenlits et les plantains sans porter atteinte à leur gazon. Les pissenlits peuvent détruire l'herbe et d'autres plantes en les étouffant.

On utilise beaucoup les herbicides sur les bordures de routes, dans les fossés d'écoulement des eaux, sur les voies ferrées et les terrains où les compagnies d'électricité ont droit de passage afin qu'ils ne soient pas envahis par les mauvaises herbes. De telles utilisations leur conviennent tout à fait. Les exploitants agricoles peuvent aussi vaporiser des herbicides dans les champs non cultivés pour détruire les mauvaises herbes susceptibles d'envahir les champs cultivés. Il peut être difficile aussi d'enfoncer les mauvaises herbes en retournant la terre lorsque celle-ci est dure à cause de l'action du soleil ou bien lorsque le vent risque d'éparpiller les graines des mauvaises herbes pendant le labourage.

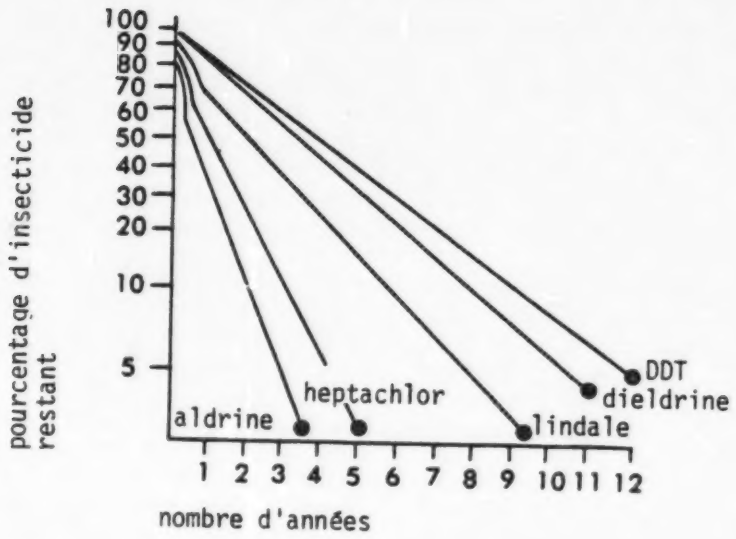
EFFETS NOCIFS DES POISONS

Il y a au Canada 2800 espèces d'insectes, 250 espèces de mauvaises herbes, 500 maladies végétales et 50 espèces de vers ou de nématodes susceptibles de nous poser des problèmes. Parmi tout ceci, seuls 150 mauvaises herbes et 300 insectes causent la majorité de ces problèmes. Pour lutter contre ces insectes et ces plantes nuisibles, nous utilisons une centaine de poisons parmi les 900 que l'on trouve sur le marché. Nous savons que ces poisons permettent d'augmenter les récoltes et de détruire les insectes qui transmettent des maladies. Maintenant, regardons l'autre côté de la médaille - étudions quelques-uns de leurs effets nocifs.

C'est le DDT qui a fait l'objet de la plus grande partie des études sur les hydrocarbures chlorés et la plupart de ce qui est présenté ci-dessous à propos de ce groupe de produits se fonde sur les résultats de recherches portant sur le DDT. Les *hydrocarbures chlorés* ont cinq propriétés fondamentales qui les rendent particulièrement dangereux pour les écosystèmes.

1) Non seulement ils agissent de diverses façons sur les insectes qui les respirent, les mangent ou les touchent, mais ils sont aussi *toxiques* pour presque tous les animaux, y compris un grand nombre de vertébrés. Le DDT n'est pas très dangereux pour l'être humain, mais les effets à long terme même de petites quantités sont inconnus. Il semblerait qu'il y aurait un lien entre un niveau élevé de DDT et des maladies telles que la cirrhose, l'hémorragie cérébrale et divers cancers.

2) Il sont *rémanents*. Ceci veut dire que leurs effets en tant que poisons persistent dans les écosystèmes pendant des années. La moitié du DDT épandu dans un champ agira encore dans le sol cinq ans plus tard. Ceci ne veut pas dire que l'autre moitié s'est décomposée et transformée en substances chimiques plus simples et inoffensives. Cela peut vouloir dire au contraire que l'autre moitié s'est écoulée dans un ruisseau ou une rivière où il est encore très efficace.



Reproduction autorisée par Sinauer Associates, Inc.

Illustration 22: Vitesse de disparition des insecticides dans le sol

3) Les insectes peuvent se créer une *résistance* aux hydrocarbures chlorés après quelques générations. Des propriétés chimiques que l'on appelle des enzymes et qui se trouvent dans le corps des insectes décomposent ce produit en substances inertes et inoffensives. Il faut alors utiliser une plus grande quantité de produit et celui-ci n'est alors que partiellement efficace pour lutter contre les insectes nuisibles. Le montant de poison se trouvant dans l'atmosphère, le sol ou l'eau sera alors beaucoup plus élevé. On tue aussi les prédateurs naturels de ces insectes, ce qui a pour résultat d'augmenter la population d'insectes nuisibles et de lui faire atteindre un niveau supérieur à celui d'avant l'application d'insecticide.

4) Les hydrocarbures chlorés sont très *mobiles*. Ainsi, même si le DDT n'est pas soluble dans l'eau il peut être entraîné par l'eau le long des plantes et dans le sol et rejoindre des ruisseaux et des lacs. Dans une eau tumultueuse, le DDT reste en suspension mais en eau calme, il tombe fréquemment au fond de l'eau où il entre dans la chaîne alimentaire par le

biais des micro-organismes. Le DDT se colle facilement à des particules en suspension dans l'eau, de même qu'à des particules de poussières qui l'emmènent à travers l'atmosphère. Il peut s'évaporer directement des plantes et du sol et rejoindre l'atmosphère, ou bien s'attacher aux gouttes d'eau en suspension dans l'atmosphère et se déplacer de cette façon. On a trouvé du DDT dans les blocs de glace de l'Arctique et dans les graisses des pingouins de l'Antarctique.

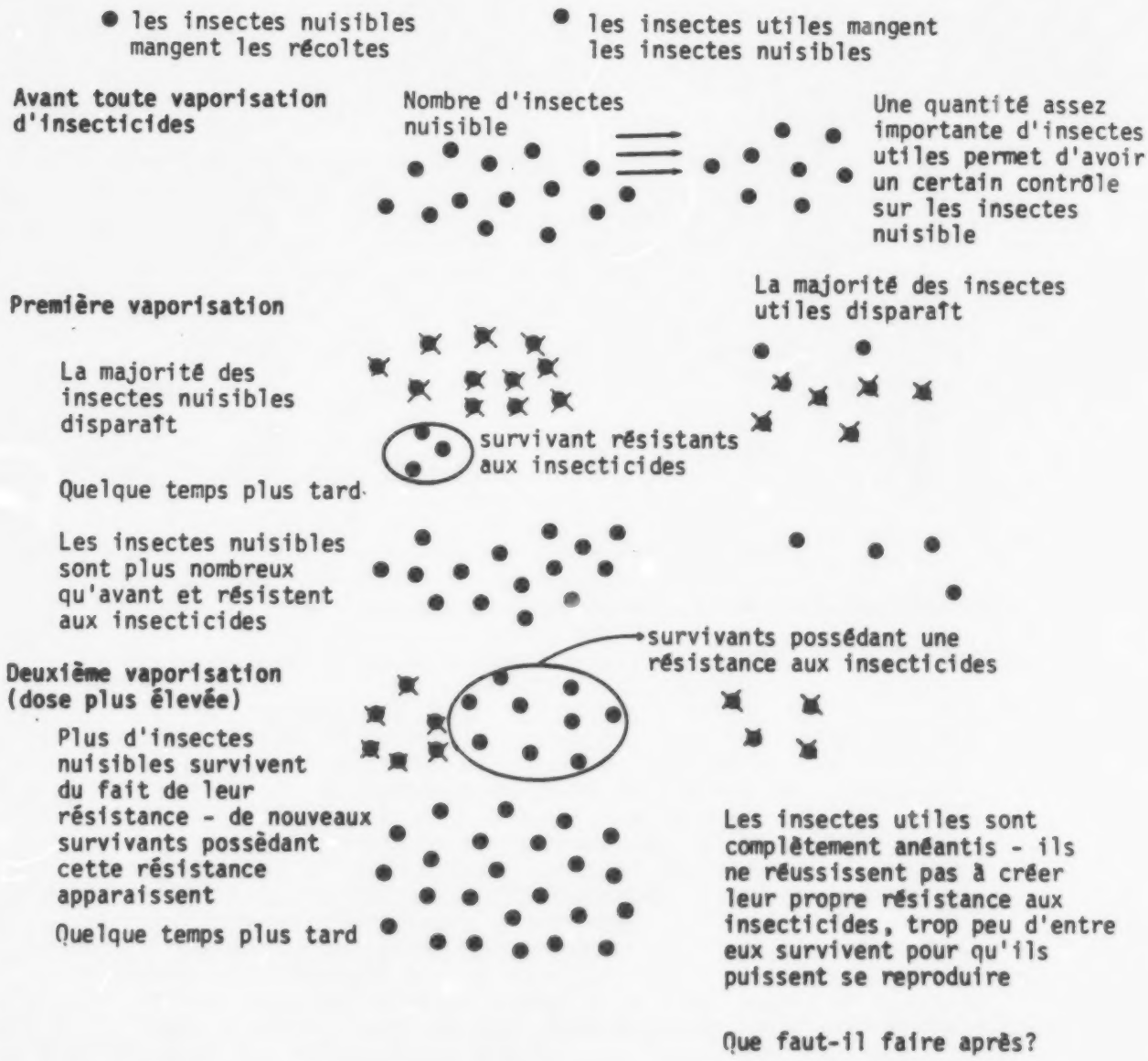


Illustration 23: Comment les insectes nuisibles réussissent parfois à sortir vainqueurs de la guerre contre les insectes?

5) Quoique les hydrocarbures chlorés soient pour ainsi dire insolubles dans l'eau, ils sont très solubles dans les graisses des organismes vivants où ils restent emmagasinés. Ils tendent à se concentrer dans les organismes qui se trouvent au bout de la chaîne alimentaire où ils peuvent produire un ou plusieurs effets selon la vitesse à laquelle la *concentration* s'est produite et selon le niveau de concentration de l'insecticide auquel on arrive.

L'illustration 24 se fonde sur des observations réelles faites dans le cadre d'études qui ont été menées entre 1954 et 1960 au nord-est des Etats-Unis, région où l'on avait fait d'importantes vaporisations de DDT dans le but de lutter contre la maladie des ormes. Le champignon qui transmet la maladie avait été introduit en Amérique du Nord à partir de l'Europe en 1930, probablement dans des bûches d'ormes importées en vue d'être transformées en bois de placage. Il a été transporté d'un arbre à l'autre par la bostryche de l'orme, insecte de 3 mm de long seulement qui grandit d'abord dans les vaisseaux hydriques qu'ils finit par détruire. Les premières mesures prises pour lutter contre cette maladie comportaient la vaporisation de DDT dans le but de tuer les bostryches de l'orme. Dans l'ensemble, ces vaporisations furent un désastre complet car peu d'arbres ont pu être sauvés, à supposer même qu'il en ait eus. Par contre, diverses espèces d'oiseaux en ont gravement souffert.

Les vers de terre, qui se nourrissent constamment de feuilles d'ormes tombées, ont absorbé une quantité importante de DDT et celui-ci s'est concentré dans leur corps. Certains d'entre eux sont morts quant la concentration devenait trop élevée, mais d'autres ont survécu et sont devenus les instruments d'un effet d'*amplification biologique* du poison; c'est-à-dire qu'ils emmagasinaient le DDT dans leur corps où il se trouvait concentré. Les merles d'Amérique qui se nourrissaient de vers de terre ont encore concentré davantage le DDT. Ainsi, le nombre de merles d'Amérique est tombé très vite, en partie à cause d'empoisonnements directs, mais aussi à cause des problèmes de reproduction que cela a engendrés. Le DDT réduisait en effet, par un mécanisme complexe, la capacité que possédaient les femelles de métaboliser le calcium en quantité suffisante pour que leurs oeufs aient une coquille épaisse et résistante. Ainsi, un grand nombre d'oeufs se brisaient dans le nid et beaucoup d'autres ne pouvaient éclore. On a remarqué des effets similaires chez d'autres espèces d'oiseaux, mais c'est le merle d'Amérique qui en a le plus souffert.

Illustration 24: Effets des insecticides sur la chaîne alimentaire

Les insecticides ont aussi des effets nocifs sur les oiseaux de proie comme les faucons. Quand ils mangent les merles d'Amérique et d'autres oiseaux de petite taille, les insecticides se trouvent en concentrations encore plus forte dans leur corps. Non seulement leurs oeufs ont une coquille trop fine mais il semble qu'ils pondent leurs oeufs plus tardivement lorsque leur corps contient une grande quantité d'insecticides. Là encore, c'est une réaction chimique complexe produite dans le corps des oiseaux qui provoque ce retard, mais le résultat en est que peu de jeunes peuvent survivre a une situation semblable. Les oeufs des oiseaux de proie ont une période d'incubation qui est longue et il faut du temps pour que les petits parviennent à l'âge adulte. Une ponte tardive va souvent avoir pour conséquence que les petits seront trop faibles pour survivre à leur premier hiver.

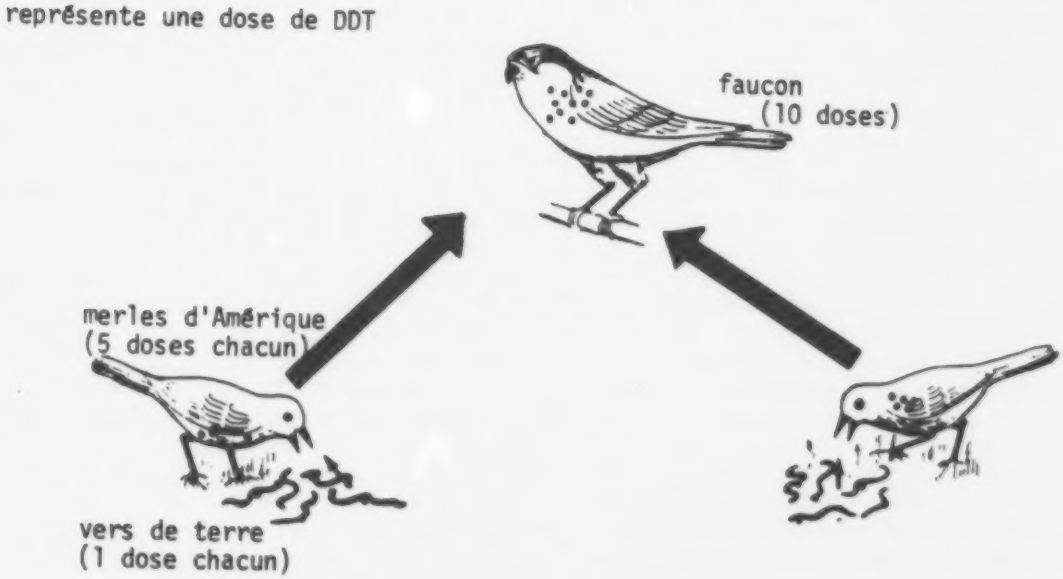


Illustration 25: Amplification biologique de la concentration d'insecticides dans la chaîne alimentaire.

Le merle d'Amérique emmagasine tout le DDT se trouvant dans les vers de terre; le faucon emmagasine tout le DDT se trouvant dans les merles. Cette situation continue, jour après jour, semaine après semaine, pendant des années.

L'illustration 26 illustre l'amplification de la concentration d'un insecticide dans la chaîne alimentaire aquatique. Le phytoplancton se compose de minuscules plantes vertes (algues, diatomées, etc.) qui flottent librement dans l'eau des océans. Ce sont en quelque sorte elles qui font qu'il y a une vie dans la mer. Certains savants pensent en effet qu'elles représentent la principale source d'oxygène, non seulement dans la mer mais aussi dans l'atmosphère. Or les insecticides réduisent leur abilité à mener à bien toute photosynthèse même lorsque ceux-ci ne se trouvent qu'en très faible concentration.

Les effets à long terme de ce phénomène sont difficiles à évaluer. Le zooplancton se compose d'animaux marins microscopiques qui sont la nourriture principale des plus petits poissons. Les oiseaux aquatiques et particulièrement les oiseaux de proie marins ont des problèmes de reproduction à cause de l'amplification de la concentration des insecticides dans la chaîne alimentaire et leur nombre diminue.

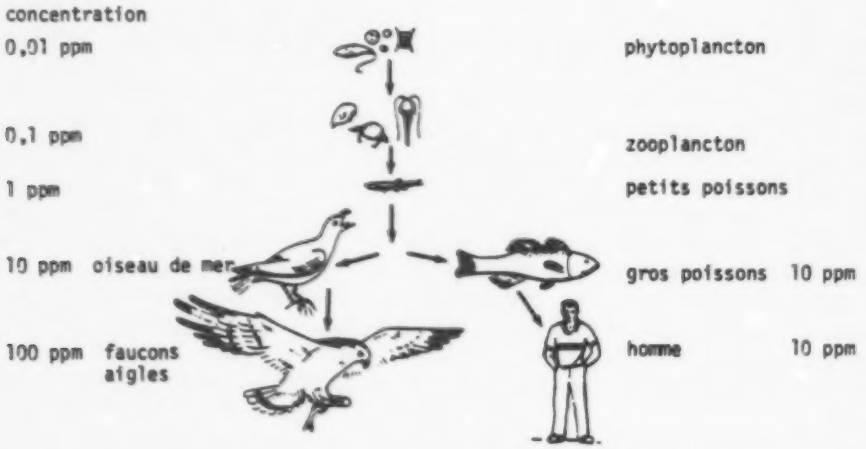


Illustration 26: Amplification biologique de la concentration d'hydrocarbures chlorés dans la chaîne alimentaire aquatique.

Tableau 14 - Toxicité des insecticides

Type d'insecticide	Intoxication aigue par ingestion DL 50 pour les rats (mg/kg[a])	Intoxication aigue par contact DL 50
Insecticides naturels:		
. pyrèthre, pyrèthrine	200 - 1600	1800
. nicotine (sulfate)	50 - 91	140
Hydrocarbures chlorés:		
. hexachlorure de benzène (BHC)	600 - 1250	
. chlordane	283 - 590	580 - 1600+
. aldrine	39 - 60	80 - 7200
. dieldrine	40 - 100	52 - 117
. endrine	3 - 45	12 - 19
. DDT	87 - 500	1931 - 3263
Phosphate organiques:		
. diazinon	66 - 600	379 - 1200
. malathion	885 - 2800	4000
. parathion	3 - 30	4 - 200

[a] Les doses se mesurent en milligrammes d'insecticide par kilogramme d'animal.

On n'a rien dit jusqu'à présent sur les effets nocifs des insecticides naturels et de ceux à base de phosphate organique. La raison de ce fait, c'est que ces produits, au contraire des hydrocarbures chlorés, se décomposent généralement assez rapidement en substances chimiques inoffensives. Ainsi, ils n'ont pas les mêmes conséquences sur la chaîne alimentaire que les hydrocarbures chlorés. Comme ceux-ci, cependant, ils peuvent être toxiques pour les mammifères. La *dose léthale médiane* ou DL 50 d'un insecticide représente son degré de toxicité. C'est le nombre de milligrammes d'insecticide qu'il faut prévoir par kilo d'animal pour tuer la moitié des cobayes dont on se sert pour l'expérience.

Si l'on donnait à dix rats d'un kilo chacun 250 mg d'un poison quelconque et que cinq d'entre eux meurent, la DL 50 de ce poison serait de 250 mg/kg. Le tableau 14 donne la DL 50 pour des doses simples de poisons administrés à des rats et appliqués sur leur peau pendant 24 h. Lorsque les animaux meurent après une seule dose, on parle d'*intoxication aigue*. Les DL 50 par intoxication aigue après ingestion ou contact cutané pour les rats permettent de comparer la toxicité relative des divers produits chimiques, mais elles ne donnent pas de renseignements, ou très peu, sur l'accumulation des effets qu'un produit pourrait entraîner. Ces effets sont ceux dont on parle lorsqu'on parle d'intoxication chronique et sont beaucoup plus difficiles à évaluer.

La dose léthale probable pour un adulte (70 kg), si on compare les chiffres correspondant à ce poids pour les cobayes, peut être estimée tel qu'indiqué dans le tableau.

Tableau 15 - Toxicité pour les êtres humains

Intoxication aigue par voie orale DL 50 pour les rats (mg/kg)	Dose léthale probable pour les êtres humains	Toxicité relative du produit
5	. quelques gouttes	. extrêmement toxique
5 - 50	. de une pincée à quelques grammes	. très toxique
50 - 500	. de quelques grammes à environ 50 g	. moyennement toxique
500 - 5000	. entre 50 g et 0,5 kg	. peu toxique
5000 - 15000	. 0,5 kg à 1 kg	. pratiquement pas toxique

Les décès provoqués par un empoisonnement direct sont relativement rares en Amérique du Nord. Ces décès proviennent le plus souvent de graves négligences dans la façon de ranger ou d'utiliser un poison ou bien de l'incapacité de l'utilisateur de lire le mode d'emploi sur l'emballage. En Colombie, en novembre 1967, 75 personnes sont mortes et 500 autres ont été malades à la suite d'un empoisonnement au parathion résultant d'une négligence. Des bouteilles d'insecticides avaient été transportées dans un camion qui contenait aussi de la farine qui devait servir à la fabrication du pain. L'une des

bouteilles s'est cassée et son contenu s'est renversé sur la farine. En Turquie, des grains de semence traités au BHC ont été mangés au lieu d'être plantés. Cela a eu pour résultat 330 décès et 3000 malades.

Depuis que les herbicides sont des produits qui agissent sur le développement des plantes et qui ne produisent pas cet effet sur les animaux, ils ont peu d'effets directs sur ceux-ci. Cependant, la destruction d'une ou de plusieurs espèces de plantes par des herbicides change sans aucun doute le nombre et le type d'animaux se trouvant dans un écosystème. Ceci se produit du simple fait qu'il y a des herbivores qui préfèrent une plante plutôt qu'une autre. Nous ne possédons pas de chiffres démontrant les effets des herbicides sur les écosystèmes terrestres et aquatiques. Au Vietnam, plus de 50 millions de kg d'herbicides (2,4-D; 2,4,5-T et picloram) ont été utilisés pour défolier la jungle de façon que l'ennemi soit visible d'avion et que ses réserves alimentaires soient détruites. Les doses utilisées étaient beaucoup plus importantes que celles recommandées pour les agriculteurs. Presque 50 % de la forêt de mangliers a été détruite au Vietnam et il ne semble pas qu'elle puisse repousser. Plusieurs malformations congénitales qui n'existaient pas auparavant ont pu être observées chez des enfants vietnamiens, et l'on pense que c'est le 2,4,5,-T qui en est la cause. Les biologistes américains ont en effet montré que ce produit pouvait provoquer toutes sortes de malformations congénitales chez les souris, les rats et les poulets.

La rémanence des herbicides peut varier considérablement. Certains, comme le 2,4-D restent toxiques entre une et quatre semaines, tandis que d'autres comme le picloram peuvent rester efficaces plusieurs années. Les effets à long terme du picloram utilisé dans le sud-est asiatique sont impossibles à évaluer. Même si nous possédons peu de renseignements sur les effets des herbicides sur les écosystèmes et sur les animaux, tout laisse à penser que ces problèmes seront sérieux.